

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Prof. Dr. H. Linser

**Einwirkung unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit
und CO₂-Konzentration auf den
Transpirationsquotienten sowie auf
Nährstoffaufnahme und -verteilung in der Pflanze**

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität zu Gießen

vorgelegt von

Dipl. Landwirt, Dipl. Wasser- u. Forstwirt

Nafeh Nouri

Deir-Ezzor, Syrien

Gießen 1969



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Prof. Dr. H. Linser

**Einwirkung unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit
und CO₂-Konzentration auf den
Transpirationsquotienten sowie auf
Nährstoffaufnahme und -verteilung in der Pflanze**

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität zu Gießen

vorgelegt von

Dipl. Landwirt, Dipl. Wasser- u. Forstwirt

Nafeh Nouri

Deir-Ezzor, Syrien

Gießen 1969

D e k a n :

Professor Dr. F. Großmann

1. Berichterstatter: Professor Dr. H. Linser
2. Berichterstatter: Professor Dr. F. Großmann

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Mai 1969



Meiner Frau gewidmet

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
I. Einleitung	5
1. Aride Zone: Beschreibung und Abgrenzung	5
2. Wachstum der Pflanze unter ariden Verhältnissen	14
3. Zur Problemstellung	20
II. Literaturüberblick	24
1. Einfluß unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit auf den Transpirationsquotienten sowie Nährstoffaufnahme und -verteilung	24
2. Einfluß unterschiedlicher CO ₂ -Konzentration auf den Transpirationsquotienten sowie Nährstoffaufnahme und -verteilung	29
III. Eigene Untersuchungen	37
1. Fragestellung	37
2. Versuchsdurchführung	39
a) Haferversuch 1967	39
Beschreibung der Versuchsanlage	39
Anzucht der Versuchspflanzen und Methodik	45
Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Verlauf der Vegetationsperiode	46
Wachstumsverlauf und Entwicklung der Versuchspflanzen	47
Ernte	51
b) Rapsversuch 1967	52
Beschreibung der Versuchsanlage	52
Anzucht der Versuchspflanzen und Methodik	52
Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Verlauf der Vegetationsperiode	53
Wachstumsverlauf und Entwicklung der Versuchspflanzen	54
Ernte	54
c) Haferversuch 1968	56
Beschreibung der Versuchsanlage	56
Anzucht der Versuchspflanzen und Methodik	57
Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Verlauf der Vegetationsperiode	59
Wachstumsverlauf und Entwicklung der Versuchspflanzen	60
Ernte	64

	<u>Seite</u>
3. Ergebnisse	65
a) Haferversuch 1967	65
Trockensubstanzproduktion	65
Wasserverbrauch	66
Transpirationsquotienten	67
Nährstoffgehalte (N,P,K,Ca,Mg) sowie Nährstoffaufnahme und -verteilung	68
b) Rapsversuch 1967	73
Trockensubstanzproduktion	73
Wasserverbrauch	73
Transpirationsquotienten	73
Nährstoffgehalte (N,P,K,Ca,Mg) sowie	74
c) Haferversuch 1968	75
Trockensubstanzproduktion	75
Wasserverbrauch	76
Transpirationsquotienten	76
IV. Diskussion	78
V. Zusammenfassung	87
VI. Anhang	93
VII. Literaturverzeichnis	135

I. Einleitung

Der Transpirationskoeffizient erlangt eine besondere Bedeutung, wenn das Wasser der begrenzende Faktor für das pflanzliche Wachstum ist. So wird man besonders in Klimazonen, in denen den Pflanzen nur geringe Wassermengen zur Verfügung stehen, bestrebt sein, den Transpirationskoeffizienten möglichst niedrig zu halten, d.h. unter geringstem Wasserverbrauch eine möglichst hohe Substanzbildung zu erreichen.

Jene Gebiete auf unserer Erde, für die obige Bedingungen zutreffen, werden nach dem lateinischen Wort "aridus", trocken, als "aride Zone" bezeichnet.

1. Aride Zone: Beschreibung und Abgrenzung

Die wesentlichen Charakteristika dieser Zone sind folgende:

1. Der Wasserverlust durch Verdunstung übertrifft die Wasserzufuhr aus den Niederschlägen.
2. Die Niederschläge fallen in einer relativ kurzen Regenperiode, auf die eine lange Trockenperiode folgt.
3. Starke Sonneneinstrahlung und hohe Windgeschwindigkeiten wirken negativ auf die Bodenbeschaffenheit.

Die Niederschläge sind nicht nur gering, sondern, was wesentlich bedeutsamer ist, vor allem sehr variabel. Sie schwanken zwischen 0 und 500 mm und sind auf eine kurze Zeitspanne beschränkt (FINCK 1963, WALLEN 1966) (Tabelle 1). Im Irak z.B. betrugen die Niederschläge während der vier Sommermonate Juli - September (Periode 1937 - 1952) 0 mm (BURINGH 1960). In Arica (Nord Chile) wurden in 17 Jahren 0,5 mm Niederschläge gemessen (FINCK 1963). Das Wasser fehlt der Pflanze oft gerade in der Zeit der stärksten Substanzbildung (Ähren-, Rispschieben, Blüte, Fruchtbildung), so daß zahlreiche Pflanzen (Getreide) verschiedene physiologische Schäden wie "Notreife" (FISCHER und KOHN 1966) und "Weißährigkeit" (RADEMACHER 1932) erleiden.

In der Regenzeit sind die Niederschläge kurz und heftig und verursachen z.T. große Schäden an den Kulturpflanzen, die unter Umständen zur totalen Vernichtung der Ernte führen können.

Klimatische Daten bei verschiedenen ariden und semiariden Standorten

Tabelle 1

C.G. WALLÉN

- Arid Lands

- UNESCO 1966

	L. H. 30°		L. H. 30°	Januar				Juli				Jahr		Peri- oden		
	W.	E.		max.	min.	Niedersch.	Windgesch.	W.	E.	max.	min.	Niedersch.	Windgesch.			
1. Sacramento, N. Am.	38° 31' N	121° 30' W		+7,5	+11,1		+3,9	96,5	190	+23,3	+32,2	+14,4	2,5	650	472	1850-1949
2. Phoenix, N. Am.	33° 26' N	112° 01' W		+11,1	+18,3		+3,9	20,3	290	+32,5	+40,0	+25,0	25,4	610	191	1896-1949
3. Zaragoza, Eur.	41° 39' N	00° 53' W		+5,7	+9,7		+1,8	14,0	170	+23,5	+30,5	+16,6	20,0	680	377	1951-60
4. Marrakesh, Afr.	31° 37' N	08° 02' W		+11,5	+17,3		+5,7	28,0	290	+28,2	+36,9	+19,5	2,0	670	242	1951-60
5. Biskra, Afr.	34° 48' N	05° 44' O		+11,4	+16,1		+6,7	17,8	290	+34,2	+41,7	+26,7	2,5	690	158	1913-50
6. Kaschgar, As.	39° 24' N	76° 07' O		-5,3	+0,6		-11,1	15,2	190	+26,7	+33,3	+20,0	10,2	650	81	1934-44
7. Palmyra, As.	34° 33' N	38° 17' O		+7,9	+13,1		+2,6	24,0	240	+29,8	+38,3	+21,2	0	740	153	1951-60
8. Bagdad, As.	33° 20' N	44° 24' O		+10,6	+16,7		+4,5	25,0	300	+34,6	+43,6	+25,6	0	730	151	1951-60
9. Teheran, As.	35° 41' N	51° 19' O		+4,0	+8,9		-1,0	37,0	230	+28,6	+35,5	+21,6	0	700	213	1951-60
10. Jodhpur, As.	26° 18' N	73° 01' O		+16,7	+24,4		+8,9	2,5	370	+31,4	+36,1	+26,7	101,6	490	356	1891-1943
11. Kairo/Helwan, Afr.	29° 52' N	31° 20' O		+13,3	+18,3		+8,3	5,1	300	+28,4	+35,6	+21,1	0	730	28	1904-45
12. La Paz, N. Am.	24° 10' N	110° 18' W		+18,0	+22,2		+13,9	5,0	380	+19,4	+35,0	+23,9	10,1	560	145	1917-42
13. Monterrey, N. Am.	25° 40' N	110° 18' W		+14,4	+20,0		+8,9	15,2	250	+26,9	+32,2	+21,7	58,4	600	579	1910-45
14. Bilma, Afr.	18° 41' N	12° 55' O		+17,2	+27,2		+7,2	0	480	+33,0	+42,2	+23,9	2,5	630	23	1931-40
15. Hartum, Afr.	15° 36' N	32° 33' O		+23,6	+32,2		+15,0	42,5	520	+31,7	+38,3	+25,0	53,3	600	157	1900-45
16. Antofagasta, S. Am.	23° 28' S	70° 26' W		+20,8	+24,4		+17,2	0	700	+13,8	+17,2	+10,5	5,8	340	13	1904-42
17. Windhuk, S. Afr.	22° 34' S	17° 06' O		+23,3	+29,4		+17,2	76,2	420	+13,0	+20,0	+6,1	42,5	340	363	1891-1950
18. Alice-Springs, Aus.	23° 38' S	133° 53' O		+28,6	+36,1		+21,1	43,1	690	+11,7	+19,4	+3,9	7,6	390	251	1921-50
19. Ferredin, Aus.	30° 46' S	121° 27' O		+26,0	+34,3		+17,6	18,0	690	+10,3	+15,7	+4,9	49,0	250	300	1951-60
20. Mendoza, S. Am.	32° 53' S	68° 49' W		+23,9	+32,2		+15,5	22,8	680	+8,4	+15,0	+1,7	5,0	250	191	1921-50

Temperaturen in °C

Niederschlag in mm

einf. Strahl. in cal/cm²/Tag

Die hohe Verdunstungsrate wird in erster Linie durch die extrem hohen Temperaturen, die in diesen Gebieten herrschen, hervorgerufen. So wurde z.B. im Jahre 1922 in Aziza (Lybien) eine Lufttemperatur von 58°C gemessen. In Bagdad beträgt die durchschnittliche Lufttemperatur während der Monate Juli - August 34°C. Noch höhere Temperaturen wurden an der Bodenoberfläche festgestellt (DURAND 1954, BURINGH 1960, BIRAND 1961, FINCK 1963).

Die Evaporation weist, besonders im Sommer, sehr hohe Werte auf. Sie beträgt im Durchschnitt 15 mm/Tag und steigt, begünstigt durch heiße und starke Winde, bis auf 25 - 30 mm an.

Die Luftfeuchtigkeit ist ziemlich niedrig. Sie fällt z.B. in Bagdad während der Sommermonate bis auf einen durchschnittlichen Wert von 13 - 16 % (BURINGH 1960, BIRAND 1961, ATANASIU 1967).

Der Wind verursacht große physiologische (durch Erhöhung der Transpiration bis auf das zwanzigfache) und mechanische Schäden an den Pflanzen (WIESNER 1887, KUHNKE 1936).

Das Wachstum der Pflanze ist allerdings nicht direkt von der verfügbaren Wassermenge abhängig, sondern vielmehr von dem jeweiligen Gleichgewicht zwischen Transpiration und Absorption, d.h. entscheidend ist die zu den jeweiligen Zeitpunkten bestehende Wasserbilanz, nicht die Höhe der Niederschläge (SEELHORST 1911, WALTER 1950, L.BAUMANN 1957, H.BAUMANN 1961, WAADIA et al. 1961). Somit zeigt sich, daß die jährliche Niederschlagsverteilung wesentlich entscheidender für das vegetative und generative Pflanzenwachstum ist als die Niederschlagsmenge (WALTER 1950, JUNGES 1957).

Der Boden wird durch starke und direkte Sonneneinstrahlung, lange Austrocknung, hohe Evaporation, heftige Niederschläge und Windstürme stark geschädigt. Dadurch ist die natürliche Vegetation spärlich entwickelt, die Bodenoberfläche durch das aufsteigende Wasser vielfach mit Alkalisalzen angereichert, die wenige organische Substanz oxydiert (< 1 % organische Substanz - FINCK 1963) und schließlich der Boden stark erodiert.

Die Wasser- und Winderosionen verursachen den Abtrag von Millio-

nen Tonnen fruchtbaren Bodens. In den USA hat man beispielsweise festgestellt, daß im Laufe von wenigen Jahrzehnten etwa 20 Mill. ha durch die Bodenerosion praktisch wertlos geworden sind (BENNET 1947). Nach FOURNIER (1960) beträgt der durchschnittliche jährliche (Wasser-)Erosionsverlust in Europa 84 t/km², in Afrika dagegen 715 Tonnen (FINCK 1963). In Aserbeidshan wurde durch Wassererosion ein durchschnittlicher Abtrag von 50 - 300 t/ha, in einzelnen Fällen sogar bis zu 500 t/ha, festgestellt (ALECKPEROW 1956). Ein heftiger Gewitterregen spritzt beispielsweise bei einem erosionsanfälligen Boden mehr als 200 Tonnen Boden pro ha auf (ELLISON 1954).

Nach der Beschreibung der ariden Zone soll jetzt versucht werden, einen Überblick über ihre Abgrenzung auf der Erdoberfläche zu geben.

Bisher wurde von zahlreichen Autoren versucht, die verschiedenen Klimate der Erde zu klassifizieren. Wenn keine dieser Klassifizierungen sich als vollständig und genau erwiesen hat, so deshalb, weil man sie sehr allgemein, d.h. für alle wissenschaftlichen Disziplinen gültig, ausrichten wollte. Eine solche universelle Klassifikation ist jedoch unmöglich, da die Gesichtspunkte und Bedürfnisse der verschiedenen Disziplinen unterschiedlich sind (EMBERGER 1954).

Versucht man ein Kriterium zu finden, um die ariden Gebiete von den humiden genau abzugrenzen, so stößt man auf gewisse Schwierigkeiten. Im allgemeinen aber wird die Grenze dort gezogen, wo die jährliche Verdunstungshöhe einer Wasserfläche die jährliche Niederschlagshöhe übersteigt (WALTER 1962, FINCK 1963).

Auf dieser Basis beruht die Klassifikation von PENCK (1910), der eine "Trockengrenze" ($N = V$) zwischen ariden ($N < V$) und humiden ($N > V$) Gebieten zieht.

N = Jahresmittel der Niederschläge

V = Verdunstung

KÖPPEN (1931) verwandte an Stelle der Verdunstung die Temperatur als Charakteristikum der Klimazonen und zieht folgende Grenzen:

- a) Winterregenregionen :
 - semi-arid (Steppenklima) $P \leq 20 T$
 - voll-arid (Wüstenklima) $P \leq 10 T$
- b) Sommerregenregionen :
 - semi-arid $P \leq 20 (T + 14)$
 - voll-arid $P \leq 10 (T + 14)$
- c) Regionen ohne bestimmte Regenzeiten :
 - semi-arid $P \leq 20 (T + 7)$
 - voll-arid $P \leq 10 (T + 7)$

P = jährl. Niederschlag in mm

T = Jahresmittel der Temperatur in °C

Auf ähnlicher Grundlage wie die Köppen'sche Klassifikation beruht die im Jahre 1935 von de MARTONNE unter dem Namen "Ariditätsindex" aufgestellte Formel:

$$I = \frac{n \times P}{T + 10}$$

n = Zahl der Regentage

P = Tagesmittel der Niederschläge

T = Temperaturmittel in der gewählten Periode (sie kann einige Tage, ein Monat oder eine Saison sein)

wenn $I < 30$ ist das Klima semiarid,

wenn $I < 20$ ist das Klima vollarid.

GAUSSEN (1954) nahm die natürliche Vegetation als Grundlage und entwickelte ein auf die jährliche Zahl der ariden Monate basierendes System. Ein Monat wird als arid betrachtet, wenn $P < 2 t$.

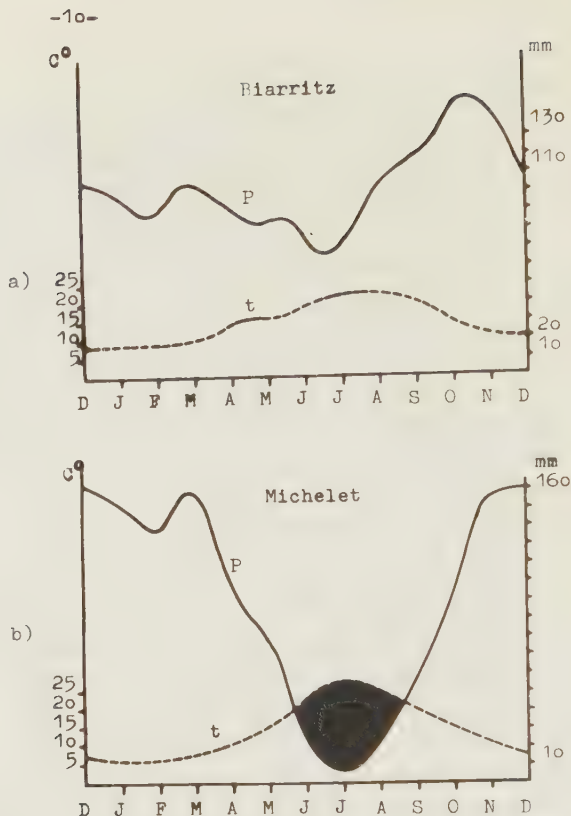
P = Monatsmittel der Niederschläge in mm

t = Monatsmittel der Temperaturen in °C

Unter diesen Gesichtspunkten fertigte er eine graphische Darstellung, ein sogenanntes "ombrothermisches Diagramm", für jedes Klima an (Abb.1), um ein Bild der Wasserbilanz zu geben (die Kurve der P-Werte gibt den Wassergewinn und die Kurve der t-Werte den Wasserverlust an). Somit beginnt die Trockenperiode, wenn die Niederschlagskurve die Temperaturkurve schneidet und darunter verläuft. Sie endet, wenn beide Kurven sich erneut treffen.

Abb. 1

Zwei "Ombrothermische
Diagramme"
(GAUSSEN 1954)



EMBERGER schlug in seinem "Projekt einer biogeographischen Klassifikation der Klimate" (Intern. Botanischer Kongress, Paris, Juli 1954) eine Klassifizierung der Bioklimate der Welt vor. Er benutzt einen "pluviothermischen Quotienten" um die Aridität eines Klimas mit Hilfe des Niederschlags, der Temperatur und der Evaporation zu bestimmen:

$$Q = \frac{P}{2 \frac{(M + m)}{2} \cdot (M - m)} \cdot 100 = \frac{100 P}{M^2 - m^2}$$

P = Jahresmittel der Niederschläge

M = Mittelwert der max. Temperaturen des heißesten Monats

m = Mittelwert der min. Temperaturen des kältesten Monats.

M und m sind von großer Bedeutung, da das pflanzliche Leben hier zwischen diesen zwei Grenzen, bzw. bei $\frac{M + m}{2}$ abläuft.

M - m gibt somit einen indirekten Hinweis auf die Evaporation.

THORNTHWAITE (1948) versuchte, die Weltklimate unter Berücksichtigung der Beziehung zwischen Niederschlag und Evapotranspiration zu klassifizieren. Sein System hat eine physikalische Basis und ist im Prinzip zur Verwendung in Trockenklimaten geeignet.

MEIGS (1953) wandte das verbesserte Thornthwaite-System an, um eine Grundkarte der Verteilung der semiariden und ariden Zonen der Welt darzustellen (Abb.2).

WALTER und LIETH (1956) fertigten einen Klimadiagrammweltatlas an. Für jede Station in der Welt stellten sie ein dem ombrothermischen Diagramm von Gaussen ähnliches Diagramm auf.

Nach diesem Diagramm teilte WALTER (1962) die aride Zone in folgende Gebiete ein:

1. Aride Gebiete mit Winterregen und einer Sommerdürrezeit (Abb. 3)
2. Aride Gebiete mit Sommerregen und einer Winterdürrezeit (Abb. 4)
3. Aride Gebiete mit zwei Regenzeiten oder ohne bestimmte Regenzeit (Abb. 5)
4. Extrem aride Gebiete nur mit episodischem Regen oder regenlos (Abb. 6)

Aus den erwähnten Klassifikationen stellt sich heraus, daß die aride Zone etwa 35 % der Erdoberfläche einnimmt (WALTER 1962, FINCK 1963, WALLEN 1966).

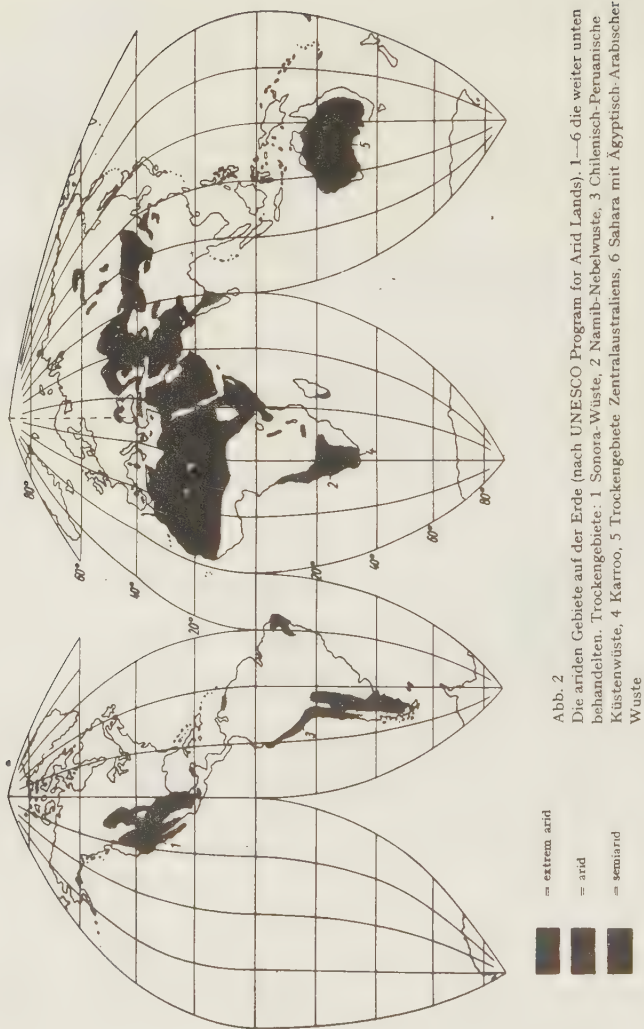


Abb. 2

Die ariden Gebiete auf der Erde (nach UNESCO Program for Arid Lands). 1—6 die weiter unten behandelten Trockengebiete: 1 Sonora-Wüste, 2 Namib-Nebelwüste, 3 Chilenisch-Peruanische Küstenwüste, 4 Karroo, 5 Trockengebiete Zentralaustraliens, 6 Sahara mit Ägyptisch-Arabischer Wüste

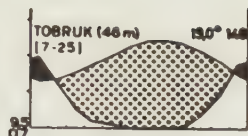
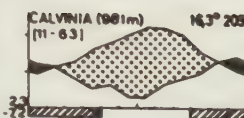
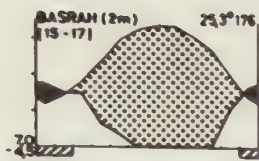


Abb. 3

a)

b)

c)

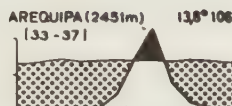
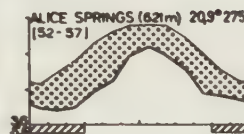
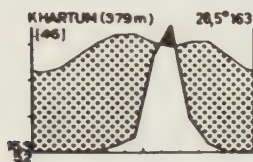


Abb. 4

a)

b)

c)

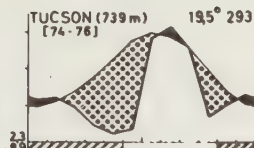
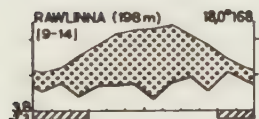


Abb. 5

a)

b)

c)

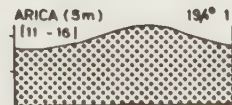
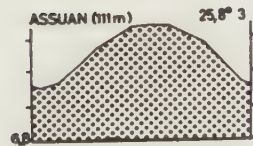


Abb. 6

a)

b)

c)

2. Wachstum der Pflanze unter ariden Verhältnissen

Das Wasser spielt im Haushalt des pflanzlichen Organismus eine bedeutende Rolle. Es ist der Hauptbestandteil der lebenden Zelle (90 - 95 %). Zur Quellung der Plasmakolloide, zur Aufrechterhaltung des Turgors des Zellsaftes und als chemisches Agens bei Stoffwechselvorgängen, insbesondere bei der Photosynthese, ist das Wasser unentbehrlich. Eine weitere wichtige Funktion hat es als Lösungsmittel für Gase und Nährsalze, sowie als Transportmedium für Assimilate und Nährstoffe (KUHNKE 1936, WALTER 1950, SCHARRE 1953, FINKNER und STAFF 1964-65, MENGEL 1968).

Der Wasserhaushalt nimmt im Leben der Pflanzen eine zentrale Stellung ein und spielt eine viel bedeutsamere Rolle als beispielsweise im Leben der Tiere. Wasseraufnahme, Wasserleitung und Wasserabgabe (vorwiegend Transpiration) sind die drei Grundvorgänge des Wasserhaushaltes (WALTER 1950). Als pflanzenphysiologischer Faktor gehört das Wasser zu den äußeren Wachstumsfaktoren, die das Pflanzenwachstum und die Höhe des Pflanzenertrages bedingen (MITSCHERLICH 1933, KUHNKE 1936, WALTER 1950, MENGEL 1968).

Wasser ist in den ariden Gebieten der wachstums- und ertragsbegrenzende Faktor. Die Photosynthese, die eine der wichtigsten Lebenserscheinungen der Pflanze ist, zeigt eine sehr starke Abhängigkeit von der Wasserbilanz und wird durch Wasserdefizite stark gehemmt (WALTER 1950).

Die Wasserbilanz im Pflanzeninnern - Quotient aus Transpiration und Wasseraufnahme - soll gleich 1 sein (Wassergleichgewicht), um die Hydratur (der Wasserzustand in % relativer Dampfspannung) der Pflanze auf ihrem Optimum (etwa 100 % = volle Turgescenz der Zelle) zu erhalten. Unter ariden Verhältnissen, namentlich bei starker Transpiration oder bei Wassermangel im Boden, liegt er stets so hoch über 1, daß es der Pflanze nicht mehr gelingt, den Wasserverlust auszugleichen. Infolgedessen können hohe Wasserdefizite eintreten, vor allem weil die Aufnahmefähigkeit der Wurzel und die Zuleitung durch das Xylem nicht mit der starken Transpiration parallel laufen können (KUHNKE 1936, WALTER 1950, KRAMER 1963).

Bei einem solchen Wasserdefizit ist der Wasserhaushalt der Pflanze gestört, d.h. die Wasserversorgung und damit der Wassergehalt der einzelnen Pflanzenorgane und ihre anatomischen Strukturen sind nicht mehr optimal. Die Hydratur der Zelle nimmt ab, und damit werden die Stoffwechselprozesse und vor allem die Photosynthese beeinträchtigt, da ein Wasserdefizit bzw. eine geringe Hydratur immer eine gewisse Dehydratation des Zytoplasmas bedeutet. Das Zytoplasma aber enthält die Mehrzahl der Enzyme des pflanzlichen Stoffwechsels, für deren Wirksamkeit die Hydratur weitgehend bestimmend ist. Aufgrund der Turgorabnahme der Zelle ist die Zellstreckung behindert und die Synthese von Zellulose herabgesetzt (KRAMER 1955, KLOTZ 1958, MENGEL 1968).

SLAVIK (1965) hält die Beeinflussung der CO_2 -Assimilation durch Hydrationsveränderungen des Protoplasmas für stärker als durch die Stomataweite.

PISEK und WINKLER (1956) fanden aber bei ihren Untersuchungen an einer Vielzahl von Pflanzen, im Gegensatz zu BOSIAN (1965), keine Anzeichen dafür, daß die Photosynthese durch Wasserverlust beeinträchtigt wird, solange die Spalten optimal geöffnet sind. Nach ihrer Auffassung reagieren die Stomata empfindlich genug, so daß ein direkter hemmender Einfluß von Wassermangel auf die Photosynthese in den Hintergrund tritt (HOFFMANN 1968).

Es scheint uns, daß keine gegensätzlichen Auffassungen zwischen den einzelnen Forschern bestehen, da die verschiedenen Pflanzen, vor allem innerhalb der verschiedenen ökologischen Gruppen, sich unterschiedlich verhalten. Es ist außerdem leicht einzusehen, daß, so lange die Stomata optimal geöffnet bleiben, das Wasserdefizit nicht hoch genug wird, um die Photosynthese beeinträchtigen zu können.

Andererseits führt der verminderte Wassergehalt zu einer Konzentrierung des Zellsaftes, d.h. der osmotische Wert (in Atm.) steigt an und damit sinkt die Hydratur ab. Ein hoher osmotischer Wert zeigt an, daß die Wasserbilanz gestört ist. Die Folge sind Trockenschäden an der Pflanze, die irreversibel sein und zum Welketod führen können, wenn der osmotische Wert sein Maximum erreicht.

Der osmotische Wert ist somit ein Maß für die Hydratur. Er spiegelt die Wasserverhältnisse wider und reagiert sehr fein auf jede Änderung der Wasserbilanz, so daß eine direkte Korrelation zwischen dem osmotischen Wert der Pflanze und ihrer Assimilationsrate entsteht, d.h. Ertragshöhe und osmotischer Wert weisen enge Beziehungen auf. Je höher der osmotische Wert ansteigt, um so stärker tritt eine Wachstumshemmung ein (WALTER 1931, L. BAUMANN 1957).

Auf das hohe Wasserdefizit unter ariden Verhältnissen reagieren auch die Schließzellen der Spaltöffnungen. Ihr Turgor nimmt stark ab und sie schließen sich (hydroaktives Schließen) (Abb. 7). Mit der Schließung der Stomata wird ein zu hoher Wasserverlust verhindert, gleichzeitig aber auch der Eintritt von CO_2 in die Pflanze blockiert und damit die Photosynthese gehemmt. Das bedeutet, daß bei extremer Trockenheit die Pflanzen nicht so sehr unter direktem Wassermangel, wie unter Kohlen säuremangel leiden; sie "verdurstet" nicht nur, sie "verhungern" auch (KUHNKE 1936, STÄLFELT 1955, LUNDEGÄRDH 1960).

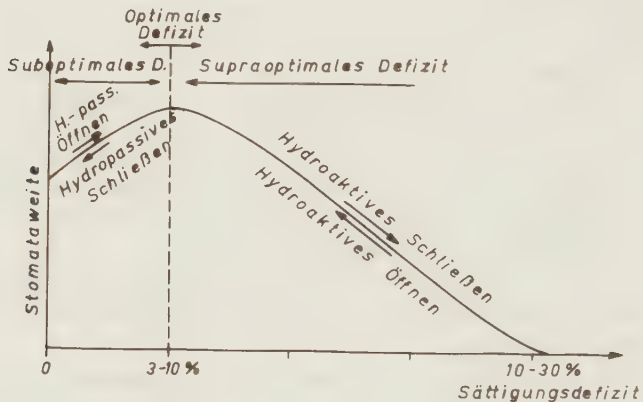


Abb. 7: Hydroaktive und hydropassive Stomatabewegungen in Abhängigkeit vom Wasserdefizit. (LUNDEGÄRDH 1960).

Ferner bewirkt die Hydraturabnahme des Zytoplasmas vielfach eine veränderte Atmung, einen vermehrten Abbau von Proteinen und eine stimulierte Spaltung von Stärke durch Amylase (KUHNKE 1936, WAADIA et al. 1961, HOFFMANN 1968).

Nach PETINOV (1960) ruft ein Wasserdefizit im Boden und in der Luft eine übermäßig starke Erhöhung der Atmungsintensität und der Aktivität der Oxydationsfermente (Peroxydase, Polyphenoloxydase und Ascorbinsäureoxydase) hervor. Dies ist gleichzeitig mit einer starken Senkung des Assimilatetransportes aus den Blättern verbunden.

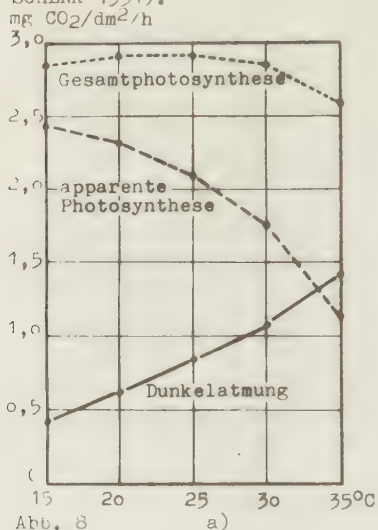
MUSSAJEWA (1957) fand, daß verschieden starke Austrocknung des Bodens, und das damit im Zusammenhang stehende Welken der Pflanzen, sich verschieden auf die Atmungsintensität auswirkt: leichtes Welken (Bodenfeuchtigkeit = 20 % der max. Wasserkapazität) erhöht die Atmungsintensität, starkes Welken (13 % der max. Wasserkapazität) senkt die Atmungsintensität.

Bei Atmungserhöhung wird die Nettophotosynthese vermindert. Nettophotosynthese = Bruttophotosynthese - Atmung, meßbar als Dunkelatmung, vorausgesetzt, daß die Atmung im Dunkeln und bei Belichtung mit gleicher Intensität abläuft (EGLE 1960 b, KRANZ 1966 a).

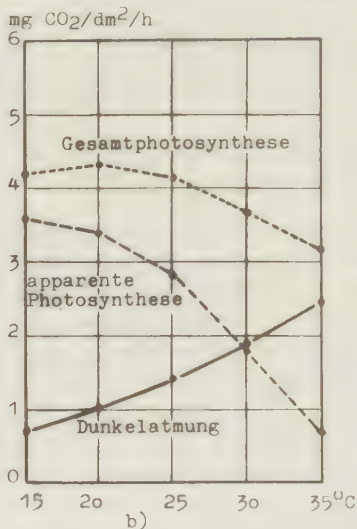
Wenn sich die Dissimilationsverluste den Assimilationsgewinnen (Bruttophotosynthese) angleichen, d.h. wenn ein Gleichgewicht zwischen Atmung und Photosynthese entsteht, wird die Nettophotosynthese gleich Null (= "CO₂-Kompensationspunkt" der Photosynthese) (STÄLFELT 1960 a).

Auch hohe Temperaturen, die in der ariden Zone sehr häufig auftreten, rufen eine Verminderung der Photosynthese hervor. Die Temperatur nimmt primär Einfluß auf die Intensität der fermentativen Dunkelreaktionen des Calvin-Zyklus. Da diese einen wesentlichen Bestandteil der Photosynthese darstellen, erklärt sich auch deren Temperaturabhängigkeit. Die Temperatur aber beeinflusst die Nettophotosynthese in viel stärkerem Ausmaße auf Grund starker Atmungsveränderungen (RABINOWITCH 1951, STÄLFELT 1960, THOMAS 1965).

Über das Ausmaß der temperaturbedingten Steigerung der Atmung und der Verringerung der photosynthetischen CO_2 -Aufnahme bei höher werdender Temperatur gibt die Abb. 8 Aufschluß. (EGLE und SCHENK 1954).



Dunkelatmung, apparente u. ges. Photosynthese von *Fegatella conica*.



Dunkelatmung, apparente und gesamte Photosynthese von *Pelargonium zonale*.

Die Dunkelatmung steigt von 15 - 35°C auf den etwa vierfachen Wert an. Die Kohlendioxydaufnahme sinkt bei steigender Temperatur rasch ab und beträgt bei 35°C noch 45 % (*Fegatella*) bzw. nur noch 19 % (*Pelargonium*) des unter gleichen Beleuchtungsverhältnissen bei 15°C ermittelten Wertes. Dieser starke Atmungsanstieg hält bis zu einer gewissen Temperatur an (45 - 50°C) und fällt dann (oberhalb 50°C) sehr stark ab. In diesem Bereich tritt der Hitzetod ein (ILJIN 1923, GOODMAN 1956, HOFFMANN 1968, MENGEL 1968).

Bisher wurde nur der statische Zustand des Wasserdefizits, bzw. die Veränderungen des osmotischen Wertes des Zellinhaltes be-

handelt. Wenn man von dem dynamischen Aspekt des Wasserdefizits sprechen will, muß erwähnt werden, daß eine starke Aridität (durch Erhöhung der Temperatur und des Sättigungsdefizits der Luft) eine erhöhte Transpiration der Pflanze hervorruft (WOLLNY 1897/98, MITSCHERLICH 1912, BINDEMANN 1921, WALTER 1960).

Es ist bekannt, daß die Assimilation mit der Transpiration eng korreliert, und daß eine hohe Transpiration mit hohen Energieverlusten verbunden ist (ARLAND 1953). Nach Versuchen von KUHNKE (1936) kommt jede stärkere Transpirationserhöhung einer Ertragsminderung gleich.

Nach MEZ (1919/20), MAXIMOV, und de PARCEVAUX (1963) werden für die Photosynthese gewöhnlich nur 1 - 5 % (max. 20 - 25 %) der gesamten vom Blatt aufgenommenen Sonnenenergie ausgenutzt. Mehr als 80 % kommen für die Verdampfung von Wasser zum Verbrauch.

Um diesen Zusammenhang zwischen Transpiration und Nettostoffproduktion, der von besonderer Bedeutung für das Pflanzenwachstum ist, darzustellen, hat man das Verhältnis Nettophotosynthese / Transpiration als "Produktivität der Transpiration", oder "Wassereffizienz", oder "Wasserverwertung" bezeichnet. Bereits HELLRIEGEL (1883) definierte die Produktivität der Transpiration als "Transpirationskoeffizienten" und MAXIMOW und ALEXANDROW (1917) als "Effektivität der Transpiration". Der Transpirationskoeffizient (TK) oder Transpirationsquotient (TQ) (VIETS 1962) einer Pflanze ist heute als das reziproke Verhältnis der Wasserverwertung bezeichnet. Er gibt an, wieviel kg Wasser die Pflanze verbraucht, um 1 kg Trockensubstanz zu erzeugen, d.h. der TQ ist das Verhältnis zwischen Transpiration oder Evapotranspiration und Nettophotosynthese oder Trockensubstanzproduktion, gemessen mit denselben Einheiten während eines bestimmten Zeitabschnittes (WALTER 1950, ASLYNG 1956, SLATYER 1964).

Es ist bekannt, daß der Transpirationsquotient oft sehr hoch ist und eine ökonomische Ausnutzung der Wasservorräte durch die Pflanze nur verhältnismäßig selten festgestellt werden kann (ARLAND 1953). In der Literatur werden für die meisten Kultur-

pflanzen durchschnittliche TQ-Werte von 100 - 1000 angegeben (MILLER 1938). Je trockener das Klima ist, um so höher liegen die Transpirationsquotienten. So weisen einige Pflanzen der ariden Zone TQ von 2000 bis 5000 auf (SLATYER 1964).

3. Zur Problemstellung

Aus den vorausgegangenen Ausführungen ist zu ersehen, daß in der ariden Zone zahlreiche ungünstige klimatische und edaphische Bedingungen herrschen. Ausgesprochene Austrocknung des Bodens, hohe Sättigungsdefizite der Luft, hohe Temperaturen, geringe Niederschläge, starke Evapotranspiration, Wasser- und Winderosionen arbeiten Hand in Hand, um die Pflanzenexistenz zu verhindern, oder zumindest ihre Entwicklung stark zu stören. Hier wird das lebende System (Protoplasma, Zellkern, Plastiden etc.) (LINSE 1967) in seinen Funktionen weitgehend gestört: Hohe Wasserdefizite rufen eine Hydraturabnahme des Plasmas hervor. Es folgt eine Entquellung der Plasmakolloide, die den gesamten Metabolismus (Aufbau- und Abbauprozesse) der Pflanze stark beeinträchtigt, und schließlich zum Absterben führen kann.

Die überlebenden Pflanzen weisen infolge dieser physiologischen Störungen (Einschränkung der Photosyntheseleistung, Erhöhung der Atmungsverluste) eine erhebliche Verminderung der vegetativen und vor allem der generativen Erträge auf.

Die aride Zone, die etwa ein Drittel des Festlandes unserer Erde umfaßt, bildet eine große landwirtschaftliche Produktionsreserve. Sie bietet enorme ernährungswirtschaftliche Perspektiven insofern, als die aktuelle landwirtschaftliche Nutzfläche viel kleiner ist, als die potentiell kultivierbare Fläche. Im Iran sind beispielsweise nur etwa 10 % des Landes in Kultur, daneben hält man aber noch mehr als 20 % für kultivierbar. Von der Gesamtfläche ist nur etwa 1 % (1,6 Mill. ha) bewässert. Im Irak hält man insgesamt etwa 3 % des Landes, also das Doppelte der gegenwärtig kultivierten Fläche für potentiell kultivierbar. Die bewässerte Fläche stieg in acht Jahren (1952 - 1960) um 30 % und man rechnet mit einem Anstieg von 100 % bis 1970. Im Sudan

sind von der Gesamtfläche nur knapp 3 % in Kultur. Die Fläche potentiell fruchtbaren Bodens wird jedoch mindestens auf 16 % des Landes geschätzt (FINCK 1963).

Dem starken Bevölkerungszuwachs in diesen Gebieten steht eine beachtliche Expansionsmöglichkeit (durch Bodenmeliorationen und Bewässerungsprojekte) der landwirtschaftlichen Nutzfläche gegenüber. Die landwirtschaftlichen Kulturflächen in den übrigen Teilen unserer Erde können nicht in gleichem Maße vergrößert werden, während die Bevölkerungszahl auch hier rapid zunimmt. Die Bevölkerung der Erde, die jetzt etwa 3,2 Milliarden zählt, wächst im Jahr um rund 1,7 %. Das bedeutet, daß jedes Jahr etwa 55 Mill. Menschen mehr ernährt werden müssen (GALSTON 1964). Die menschliche Bevölkerung wird sich also in weniger als 40 Jahren verdoppeln, d.h. im Jahre 2000 werden wir gezwungen sein, entweder die Nahrungsmittelproduktion zu verdoppeln oder die Zahl der Menschen auf der Erde zu begrenzen, um diese zureichend ernähren zu können.

Ein wesentlicher Weg zur Erhöhung der Nahrungsmittelproduktion wird dahin führen, die Produktionsreserven, die gerade in der ariden Zone liegen, optimal auszunutzen. Dabei wiederum wird die ökonomische Wasserverwertung durch die Pflanzen (Erniedrigung des TQ) eine wichtige Rolle spielen. Zur ökonomischen Verwertung des vorhandenen Wassers wurden bereits verschiedene Maßnahmen ergriffen:

1. Einwirkung auf die Wasserversorgung des Bodens (hauptsächlich durch Bewässerung),
2. Erhöhung der Luftfeuchtigkeit (Einschränkung der Transpiration) durch Bewässerung und Beregnung,
3. Verminderung der unnötigen Evapotranspiration durch Windschutz und Mischkulturen, die ebenso das Gleichgewicht zwischen dem verfügbaren Wasser im Boden und dem Wasserbedarf der Pflanzen fördern (BALDY 1963, GUYOT 1963).

Heute bemüht man sich mehr auf rein wissenschaftlicher Basis, den TQ, durch Verminderung der Evapotranspiration, so niedrig wie möglich zu halten. Man verwendet Antitranspirationsmittel

um die Stomata bis auf einen gewissen Grad zu verengen, bei dem die Photosynthese noch optimal verläuft, die Transpiration aber schon erheblich eingeschränkt ist (GALE und HAGAN 1966).

Eine andere Möglichkeit, mit geringsten Wassermengen Pflanzen zu erzeugen und den TQ herabzusetzen, besteht darin, das durch die Evapotranspiration in die Atmosphäre verlorengegangene Wasser wieder zurückzugewinnen und der Pflanze erneut zur Verfügung zu stellen. Um dies zu erreichen, müßten die Pflanzen in einem für Wasser "geschlossenen System" wachsen (LINSENER 1966). Ein solches System läßt sich z.B. durch einen lichtdurchlässig abgegrenzten Raum verwirklichen, in den die Luft eintritt, wobei sie eventuell vorher befeuchtet werden muß. Die austretende Luft wird abgekühlt und dabei das Wasser zurückgewonnen. Bei Abkühlung von einem Kubikmeter feuchter Luft (100 %) von 20°C auf 0°C werden beispielsweise 12,45 g Wasser gewonnen (LÜCK 1964). Dieses System ist offen für Luft, jedoch geschlossen für Wasser. Mit einem solchen geschlossenen System werden theoretisch nur 4,7 kg H₂O benötigt, um 1 kg pflanzliche Trockensubstanz zu erzeugen, während die Pflanze im Freien 400 kg H₂O verbraucht, um die gleiche TS-Menge zu erzeugen (Abb. 9). Dies bedeutet, daß theoretisch der TQ im geschlossenen System von 400 bis auf 4,7 erniedrigt werden könnte. Die Wasserausbeute, die im Freien etwa 1,18 % beträgt, kann hier bis auf 100 % ansteigen (LINSENER 1967).

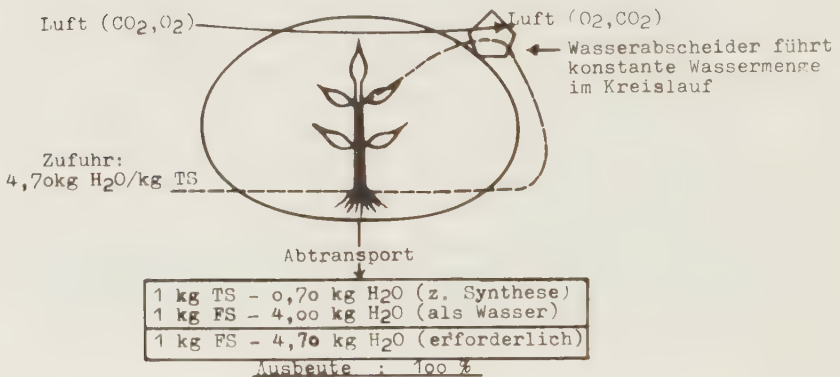


Abb. 9 a)

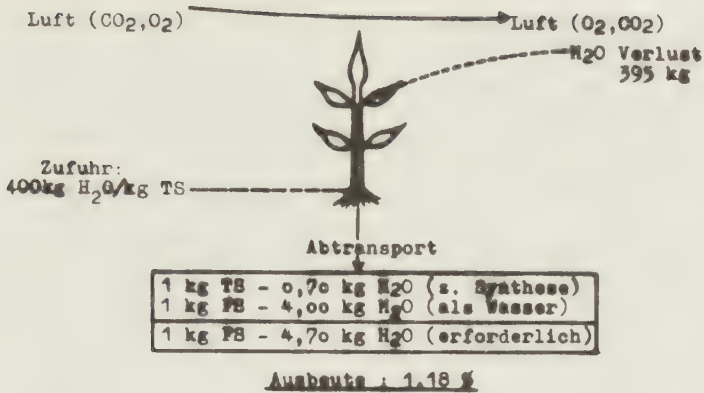


Abb. 9 b)

Eines der neuesten Verfahren zur Nahrungsmittelerzeugung ist die Industrialisierung der pflanzlichen Produktion, d.h. die kontinuierliche Erzeugung der Pflanzen in größeren Mengen, unabhängig von Witterungsbedingungen und Bodensubstrat. Der "Industrielle Pflanzenbau" stellt sich die Aufgabe, unabhängig von dem umgebenden Milieu (Klima und Boden), durch kontrollierte und auf das Optimale gesteuerte Umweltfaktoren eine optimale Produktion jeder beliebigen Menge von Pflanzenstoffen kontinuierlich zu erzeugen (KISSER 1965, RUTHNER 1967). Da die Pflanzenwelt immer noch die wichtigste Nahrungsquelle für Mensch und Tier darstellt, zielt man mit dem "Industriellen Pflanzenbau" darauf ab, die Pflanzenerträge quantitativ und qualitativ zu erhöhen, um den steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln zu decken. Die Pflanzen werden dabei auf Fließbändern in Turmgewächshäusern kultiviert und der Boden wird durch Nährlösung ersetzt. Die äußeren Wachstumsfaktoren (Temperatur, Licht ...) werden kontrolliert und je nach Bedarf variiert, um bessere Erträge zu erzielen. Dieses Verfahren ist eine Art Intensivierung der Landwirtschaft auf industrieller Basis und scheint besonders für die extremen Klimazonen (arktische und aride Zone) geeignet zu sein.

II. Literaturüberblick

1. Einfluß unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit auf den Transpirationsquotienten sowie die Nährstoffaufnahme und -verteilung

Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die pflanzliche Transpiration und Trockensubstanzproduktion ist schon seit langem bekannt. Die Transpirationsintensität der Pflanzenorgane, vorwiegend der Blätter, hängt von der Feuchtigkeit der umgebenden Luft ab.

Auf die Abhängigkeit der Transpiration von der relativen Luftfeuchtigkeit bzw. vom Sättigungsdefizit der Luft haben bereits HELLRIEGEL (1883), E. WOLLNY (1897/98) und MITSCHERLICH (1904) hingewiesen.

KUHNKE (1936) zählt die relative Luftfeuchtigkeit zu den physikalischen Verdunstungsfaktoren, die von ausschlaggebender Bedeutung sind.

SILINA (1955) stellte fest, daß bei der Bergulme eine Senkung der relativen Luftfeuchtigkeit von 75 - 100 % auf 50 - 75 % eine Erhöhung der Transpiration um 68 % zur Folge hatte.

Auch die Versuche von PROKOF'EV und KAC (1963) mit Mohn- und Sonnenblumenpflanzen zeigten, daß zwischen der Transpiration der verschiedenen Pflanzenorgane (Früchte, Blüten, Blätter) und der relativen Luftfeuchtigkeit eine unmittelbar umgekehrte Korrelation besteht. Das heißt, mit der Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit nimmt die Transpiration gesetzmäßig ab und erreicht etwa den Nullwert, wenn die Luftfeuchtigkeit bis auf 100 % ansteigt.

Über den Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit auf das Pflanzenwachstum liegen zahlreiche Arbeiten vor. REINKE (1876)

scheint der erste gewesen zu sein, der die Resultate seiner Versuche veröffentlicht hat. Er fand, daß die hohe Luftfeuchtigkeit einen fördernden Einfluß auf das Längenwachstum der Sonnenblumenpflanzen ausübt. Die Untersuchungen von SORAUER (1880), REINITZER (1881) und TSCHAPLOWITZ (1882, 1883, 1886) ergaben, daß die rel. Luftfeuchtigkeit sowohl auf die Ausbildung der einzelnen Organe, als auch auf die Produktion der Pflanzen von maßgebendem Einfluß ist. Die Versuche von HELLRIEGEL (1883) führten zu dem Ergebnis, daß die rel. Luftfeuchtigkeit keinen Einfluß auf die physiologischen Funktionen der Pflanzen, ihre Produktion und Gesamtentwicklung ausübt, solange die Bodenfeuchtigkeit innerhalb normaler und günstiger Grenzen gehalten wird. E. WOLLNY (1897/98) kam nach seinen Untersuchungen zu dem Schluß, daß eine proportionale Abhängigkeit der Erträge von der rel. Luftfeuchtigkeit vorhanden ist und die Bestockung der Pflanzen sowie die Entwicklung der reproduktiven Organe mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft gefördert werden. W. WOLLNY (1897/98) wies auf den großen Einfluß der rel. Luftfeuchtigkeit auf das Pflanzenwachstum hin. Er schrieb: "Mit zunehmender Luftfeuchtigkeit steigt der Ertrag an organischer Substanz und Mineralstoffen an. Das Längen- und Dickenwachstum der Stengel wird gefördert und die Qualität der Ernteprodukte beeinflußt." Die Untersuchungen von BRIGGS und SHANTZ (1912), KIESSELBACH (1916), MAXIMOV und ALEXANDROV (1917), MUENSCHER (1922) und LEBEDINCEV (1927) wiesen auf die bedeutende Erhöhung der "Produktivität der Transpiration" (= die je kg verbrauchten Wassers produzierte Trockensubstanz) durch hohe Luftfeuchtigkeit hin. PETINOV (1961) stellte fest, daß die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit in der Umgebung der Pflanzen durch häufige Beregnung (alle 15 Minuten) den Ertrag an Teeblättern stark erhöhte (10 t/ha gegenüber 7 t/ha der zweimal täglich beregneten Pflanzen und 1,8 t/ha der Kontrolle). De WIT und ALBERDA (1961) fanden, daß, bei konstanter Temperatur (19°C), Mais bei höherer (93 %), Hafer dagegen bei niedrigerer (55 %) Luftfeuchtigkeit höhere Frisch- und Trockengewichte erbrachten. Bei Gerste ergaben sich keine signifikanten Ertragsdifferenzen. Der Transpirationsquotient war bei Mais am niedrigsten, und

zwar infolge niedrigerer Transpiration pro Einheit Blattfläche. BIERHUIZEN und SLATYER (1965) stellten fest, daß der Transpirationsquotient der zwischen dem Blatt und der Luft bestehenden Wasserdampfspannungsdifferenz (Δe), dem sogenannten Sättigungsdefizit, direkt proportional ist. bei einem Anstieg des Sättigungsdefizits von 5 mm Hg auf 25 nimmt der Transpirationsquotient von etwa 100 auf 500 zu. Die Zunahmerate ist um so größer, je geringer die Lichtintensität und je höher die Windgeschwindigkeit ist.

Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit bzw. der Transpiration auf die Mineralstoffaufnahme war sehr häufig Gegenstand von Kontroversen. Die älteren Arbeiten erbrachten widersprechende Ergebnisse (MUENSCHER 1922). Schon W. WOLLNY (1897/98) gab an, daß die Transpiration keine notwendige Bedingung für den Transport der Nährsalze sei. Bei reichlicher Assimilation würden nämlich allein durch osmotische Kräfte hinreichende Mengen von Mineralsalzen aus den Wurzeln in die höchsten Teile der Pflanzen hinaufbefördert werden. KOSTYTSCHEW (1931), GRACANIN (1932), KREJZI (1932) und KUHNKE (1936) fanden keine Beziehung zwischen Transpiration und Mineralstoffaufnahme. Eine Zusammenhänge zwischen Transpiration und Mineralstoffaufnahme wurden dagegen etwa zur gleichen Zeit von SCHMIDT (1936), FREEDLAND (1937) und WRIGHT (1939) festgestellt.

Eine Erklärung für die widersprechenden Ergebnisse wurde von HOAGLAND und BROYER (1942) sowie von BROYER und HOAGLAND (1943) in dem unterschiedlichen Salzzustand der Versuchspflanzen vermutet. Bei salzarmen Pflanzen hat nach ihren Ergebnissen die Transpiration keinen Einfluß auf die Mineralstoffaufnahme, wohl aber bei salzreichen. Die Ursache für diese Erscheinung wurde darin gesehen, daß der Transpirationsstrom bei salzreichen Pflanzen die hohe Ionenkonzentration in den Gefäßen, die einer weiteren aktiven Ionenaufnahme entgegenwirkt, wegführt und dadurch eine weitere Aufnahme ermöglicht. Nach dieser Theorie ist die Förderung der Nährstoffaufnahme durch die Transpiration also indirekter Natur.

In neuerer Zeit wurden die Zusammenhänge zwischen Transpiration

und Mineralstoffaufnahme von vielen Forschern erörtert. Bei den zu diesem Fragenkomplex durchgeführten Untersuchungen handelte es sich in den meisten Fällen um kurzfristige, sich nur über einige Stunden erstreckende Versuche. Diese Versuche ließen allgemein erkennen, daß die Transpiration bei niedrigen Mineralstoffkonzentrationen der Außenlösung und schlechtem Versorgungsgrad der Pflanzen keinen oder zumindest nur einen geringen Einfluß auf die Mineralstoffaufnahme hat, daß er aber mit steigender Außenkonzentration und besserem Versorgungsgrad der Pflanzen zunimmt. Die fördernde Wirkung der Transpiration auf die Mineralstoffaufnahme wird allerdings unterschiedlich gedeutet. Die Meinungen der einzelnen Autoren lassen sich im wesentlichen durch zwei unterschiedliche Theorien wiedergeben:

Einige Forscher vertreten die Ansicht, daß die Ionen bzw. Mineralstoffe durch die Wirkung des Transpirationsstromes passiv von der Außenlösung durch die Wurzelrinde in die Xylemstränge verlagert werden und von dort nach oben in den Sproß gelangen. Eine passive Verlagerung der Ionen mit Hilfe des Transpirationsstromes, also ein reiner Massenfluß, würde voraussetzen, daß der sich in den Wurzeln befindende "scheinbar freie Raum" - AFS (HOPE und STEVENS 1952) - sich ausdehnt und ein kontinuierlichen freien Raum (free space) bis zu den Xylemsträngen und den Blättern bildet (HYLMÖ 1953, 1955, 1958, EPSTEIN 1956, KRAMER 1957, KYLIN und HYLMÖ 1957, PETERSON 1960, KIHLMAN - FALK 1961, JENSEN 1962).

Gegen diese Ansicht sprechen jedoch zahlreiche Untersuchungsergebnisse. Viele Autoren vertreten die Auffassung, daß die von der Außenlösung ungehindert in das äußere Wurzelgewebe (AFS) eindringenden Ionen nicht rein passiv weiter in das Xylem gelangen können, sondern auf ihrem Wege eine "Barriere", die wahrscheinlich in der Endodermis zu suchen ist, überwinden müssen. Die Überwindung dieser Barriere sei ein aktiver Aufnahme- oder Transportvorgang, der Stoffwechselenergie erfordere. Danach erst käme der Transpiration die entscheidende Rolle für die Weiterleitung der aktiv in die Gefäße gepumpten Ionen nach den Sprossen zu (BROUWER 1954, 1956, 1959, RUSSEL und SHORROCKS 1959,

RUSSEL und BARBER 1960). Auch EMMERT (1961 b) berichtete über das Vorhandensein dieser Barriere gegen die ^{32}P -Verlagerung seitlich durch die Wurzel. Für eine Begrenzung des AFS durch die Endodermis sprechen auch sehr deutlich die Untersuchungen von WEIGL und LÜTTGE (1962) über die Sulfataufnahme bei Mais.

Einheitlichkeit besteht aber in der Auffassung, daß sehr "stoffwechselaktive" (high accumulative) Ionen, wie K^+ oder NO_3^- , bei der Aufnahme eine geringere Transpirationsabhängigkeit zeigen als z.B. Ca-Ionen (MICHAEL und MARSCHNER 1962). Neuere Untersuchungen von WALLACE und CARMACK (1963) ergaben, daß die Transpiration keinen Einfluß auf den Transport der Isotope ^{47}Ca und ^{42}K in den Sprossen von Buschbohnenpflanzen hat. BARBER und KOONTZ (1963) fanden bei Gerstenkeimpflanzen, daß die Transpiration keinen Einfluß auf den Ca-Transport in der Wurzel und nur einen geringen in dem Sproß hat.

Über langfristige Versuche aus jüngerer Zeit liegen dagegen wenige Angaben im Schrifttum vor. In den Untersuchungen von MICHAEL und MARSCHNER (1962) wurden Hafer- und Senfpflanzen mit unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit kultiviert (10 - 20 % und etwa 100 %). Bei Hafer zeigten die Ergebnisse eine bessere Entwicklung und Bestockung der "Feuchtpflanzen" (um etwa 20 % höhere Trockensubstanzmenge). Bei Senf lagen die Verhältnisse umgekehrt. Die Transpirationsquotienten betrugen 523 bei Trockenpflanzen und 63 bei Feuchtpflanzen. Die starke Einschränkung der Transpiration (hohe Luftfeuchtigkeit) verminderte bei beiden Pflanzen den K-Gehalt und die K-Aufnahme praktisch nicht. Sie senkte die Aufnahme an Ca und P geringfügig, die Cs-Aufnahme dagegen in stärkerem Maße. Ein größerer Einfluß unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit zeigte sich bei der Verteilung der Mineralstoffe innerhalb der Pflanze, so daß durch die Hemmung der Transpiration bei den Feuchtpflanzen die oberen Blätter und die Blüten eindeutig mineralstoffärmer waren. Dagegen waren die unteren Blätter und die Wurzel reicher an Mineralstoffen, und zwar in der Folge $\text{K} < \text{Ca} < \text{Cs}$. Der Versuch ist nicht bis zum Ende der generativen Phase gelaufen, da die Feuchtpflanzen, durch Verschimmeln der abgestorbenen Teile, ein vorzeitiges Abernten er-

forderten.

In einem Versuch von SCHRÖDER (1961) wurden Winterroggen, Hafer und Pfefferminze bei unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit kultiviert (Variante I = 96 - 100 % Luftfeuchtigkeit, Vergleichsvariante II = 65 - 70 %). Die Erträge unterschieden sich nur wenig. Bei Roggen wies die feuchte Variante etwas geringere Erntegewichte auf als die normale; bei Hafer und Pfefferminze war es umgekehrt. Die ermittelten Transpirationsquotienten waren bei Roggen und Pfefferminze sehr niedrig. Sie betrugen nur etwa 30 % der für diese Pflanzen bisher bekannten Minimalwerte. Da der Haferversuch zeitlich später bei höheren Temperaturen durchgeführt wurde, erreichten die Transpirationsquotienten hier 50 - 60 % der bisher bekannten Werte. Zwischen Wasserverbrauch einerseits und N-, K- und P-Gehalt andererseits ließ sich keine Beziehung erkennen. Dagegen stand die N-, P- und K-Aufnahme je kg transpirierten Wassers im umgekehrten Verhältnis zur Höhe des TQ. MARSCHNER (1964) untersuchte den Einfluß der Transpiration auf die Aufnahme von Kalium, Natrium und z.T. Magnesium. Er kam zu folgenden Ergebnissen: 1. Die Aufnahme von K in die Gerstensprosse war durch Einschränkung der Transpiration nicht verändert, im Gegenteil, mitunter sogar erhöht; bei Bohnen sank sie auf ca. 90 % ab. 2. Die Aufnahme von Natrium sank bei Gerste auf ca. 80 % ab, bei Bohnen auf 22 - 32 %. 3. Die Aufnahme von Magnesium sank bei Gerste auf ca. 70 % ab, bei Bohnen auf ca. 90 %. 4. Trotz der z.T. starken Transpirationsabhängigkeit der Aufnahme von Natrium und Magnesium wird die Förderung durch die Transpiration nicht in einer passiven Verlagerung in die Sprosse zu suchen sein, sondern sie scheint indirekter Natur zu sein.

2. Einfluß unterschiedlicher CO₂-Konzentration auf den Transpirationsquotienten sowie Nährstoffaufnahme und -verteilung

Es ist seit den Untersuchungen von KREUSLER (1885) sowie von BROWN und ESCOMBE (1902) u.a. (Lit. bei STÄLFELT 1960 a) bekannt, daß die CO₂-Konzentration der natürlichen Atmosphäre bis zu 0,1 Vol.-% einen der begrenzenden Faktoren für die Photosynthese darstellt. Die Anreicherung der Gewächshausatmosphäre mit Koh-

lendioxyd diente daher zur Erhöhung der Assimilationsleistung, bzw. zur Steigerung der Stoffproduktion. Die ersten Versuche von BROWN und ESCOMBE (1902) führten allerdings zu negativen Befunden. Dagegen erbrachten die Versuche von DEMOUSSY (1904) deutliche Ertragssteigerungen.

Den Eingang in die gärtnerische Praxis fand die CO₂-Begasung jedoch erst durch die Arbeiten von BORNEMANN (1920), vor allem aber durch die von REINAU (1927). Die bisherigen Versuchsergebnisse können durchaus mit Ungenauigkeiten behaftet sein, da man sich meistens darauf beschränkte anzugeben, wieviel Liter CO₂ in den Versuchsraum gegeben wurden, ohne daß eine Möglichkeit bestand, die wirklich erreichten CO₂-Konzentrationen durch exakte kontinuierliche Messungen konstant zu halten. Damit ließen sich auch die unterschiedlichen Befunde erklären. Die Versuche die später durchgeführt wurden, erbrachten widersprüchliche Ergebnisse, wobei die Unterschiede sortenspezifisch waren: Die Versuche von DULFOREE (1965), SAUCHELLI (1965), BIERHUIZEN und PLOEGMAN (1966), MÜLLER (1966), COOPER und BRUN (1967) sowie FORD und THORNE (1967) erbrachten bei verschiedenen Gemüse- und Blumenarten positive Ergebnisse hinsichtlich höherer Erträge, besserer Qualität sowie Verkürzung der Reifezeit. BIERHUIZEN und PLOEGMAN (1966) stellten fest, daß die CO₂-Konzentration von 0,10 % sich als optimal erwies, und daß der Wasserverbrauch bei höherer CO₂-Konzentration im allgemeinen nicht erhöht, sondern z.T., durch Stomataverschluß, verringert wurde. Dagegen konnten NEWTON (1966) und STURM (1966) keine besseren Ergebnisse in Bezug auf Frühzeitigkeit, Höhe und Qualität des Ertrages durch eine zusätzliche CO₂-Gabe erzielen. STURM (1967), der eine umfassende Arbeit über die CO₂-Begasung in Gewächshäusern ausführte, stellte fest, daß die bei den Untersuchungen nachgewiesenen Unterschiede für die Praxis ohne Bedeutung sind und die Verluste an Kohlensäure während der Begasungszeit recht erheblich sein können. Er empfiehlt, für die gasdichte Unterteilung der Gewächshäuser nur dicke Folien (0,2 mm) zu verwenden. Außerdem sollte eine Möglichkeit bestehen, die CO₂-Konzentration laufend zu messen, um den geeigneten Zeitpunkt für den Beginn und das Ende der Begasung zu erkennen.

MITSCHERLICH (1933), der die Kohlensäure als Wachstumsfaktor betrachtet, fand, daß der CO_2 -Gehalt der Luft und die Lichtintensität hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Pflanzenertrag in einer gegenseitigen Beziehung zueinander stehen: Bei hohen Lichtintensitäten, wie sie im Freiland vorherrschen, erreicht die Assimilation in Abhängigkeit von der CO_2 -Konzentration ihr Maximum schon bei der normalen CO_2 -Konzentration der Luft (0,03 Vol.-%). Eine Steigerung über diesen Wert hinaus bewirkt deshalb keinen weiteren Ertragsanstieg. Bei niederen Lichtintensitäten wird dagegen das Assimilations-Maximum erst bei höheren CO_2 -Konzentrationen erreicht. In Gewächshäusern, wo die Lichtintensität höchstens 50 % der im Freien herrschenden beträgt, kann sich deshalb eine Erhöhung der CO_2 -Konzentration der Luft günstig auf den Ertrag auswirken (Abb. 10).

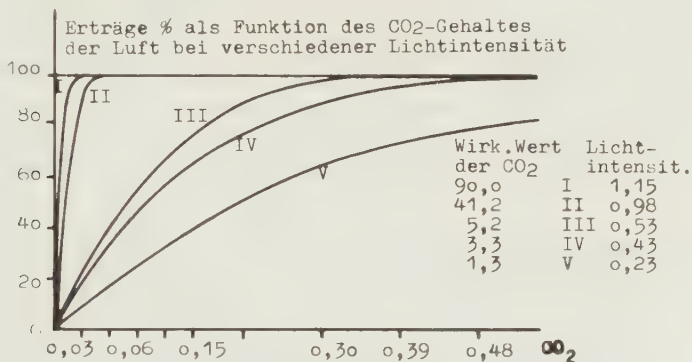


Abb. 10: Bei normaler Lichtintensität (= 1,00) wird bei normalem Kohlensäuregehalt der Luft (0,03 Vol.-%) angereichert der Höchstertrag (= 100) erreicht (MITSCHERLICH 1933).

LUNDEGÄRDH (1960) erwähnte ebenso, daß die Wirkung des Kohlensäurefaktors vom Lichtfaktor abhängig ist; eine Steigerung wirkt deshalb im Minimumgebiet des Lichts nur unbedeutend und steigt bei optimalem Licht (hier unter dem vollen Tageslicht) auf das Vielfache an (Abb. 11). Untersuchungen über "Kohlensäuredüngung" (LUNDEGÄRDH 1924, 1957) zeigten jedoch, daß optimale Effekte

schon bei einer mäßigen Erhöhung auf etwa 0,10 % erreicht werden.

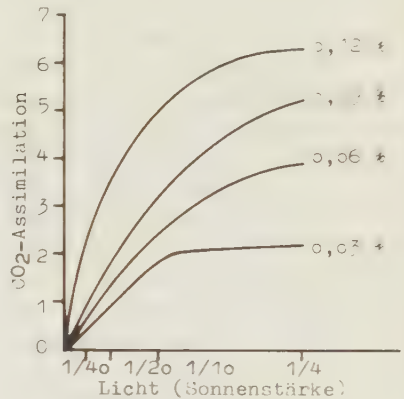
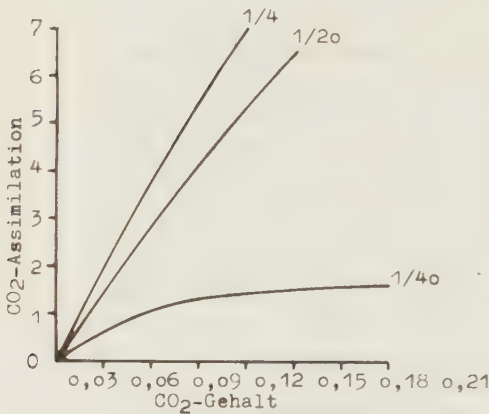


Abb. 11

a)

b)

Abhängigkeit der Photosynthese von der Lichtintensität und dem CO₂-Gehalt der Luft (LUDWIG 1924).

BRETSCHNEIDER-HERRMANN (1962/63), der die Wechselwirkung von Temperatur und Kohlensäuregehalt der Luft auf Hafer untersuchte, kam zu dem Schluß, daß: 1. bei höherer Temperatur die positive Wirkung der Kohlensäure auf den Strohertrag relativ größer war. Dagegen wurde der Kornertrag negativ beeinflusst; 2. das Längenwachstum und die Entwicklung der Pflanzen durch beide Faktoren wesentlich beschleunigt wurden; 3. die N-Aufnahme sowohl durch höhere Temperatur als auch durch CO₂-Düngung gehemmt wurde.

BIERHUIZEN und SLATYER (1965) stellten fest, daß, unter sonst gleichen Bedingungen, aber bei steigender CO₂-Konzentration (bis 0,10 %), der Transpirationsquotient rasch absinkt und schließlich einen Wert (<100) erreicht, bei dem die CO₂-Konzentration keinen begrenzenden Einfluß mehr auf die photosynthetische Leistung hat. Nach den Diffusionsgleichungen von PENMAN und SCHOFIELD (1951) entwickelten sie die folgende Formel:

$$E/A = 0.079 \frac{\Delta e}{\Delta v} \cdot \frac{\Sigma r'}{\Sigma r}$$

E = Transpiration

A = apparente Photosynthese

E/A = Transpirationsquotient

$\Delta e, \Delta v$ = Wasserdampf- und CO₂-Spannungsdifferenzen zwischen Blatinnern und Außenluft

$\Sigma r, \Sigma r'$ = Diffusionswiderstände der Spaltöffnungen gegen Wasserdampf und CO₂ (Aus- und Eintritt)

Die Diffusionswiderstände der Stomata gegen Gase hängen vor allem von ihrem Öffnungszustand ab. Verengung oder Vergrößerung der Spaltenweite, die durch Turgorschwankungen der Schließzellen hervorgerufen werden, beeinflussen zwar die Diffusionswiderstände für Wasserdampf und CO₂ etwas unterschiedlich stark, jedoch gleichsinnig, so daß unter natürlichen Bedingungen das Verhältnis $\Sigma r' / \Sigma r$ nur wenig schwankt. Da auch die zwischen dem Blatinnern und der Außenluft bestehende CO₂-Spannungsdifferenz (Δv) im allgemeinen nur wenig variiert, werden die Transpirationsquotienten, in den verschiedenen Regionen, sehr stark vom Sättigungsdefizit (Δe) bestimmt.

Eine Verkleinerung der Spaltenweite vermindert zwar durch die Erhöhung des Diffusionswiderstandes den Wasserverlust der Pflanze, erschwert aber gleichzeitig auch den Eintritt von CO₂ in das Blattinnere.

Für den Wasserhaushalt der Pflanze und die Ertragsbildung ist nun von großer Bedeutung, daß die Stellung der Spaltöffnungen auch von dem CO₂-Gehalt der Luft beeinflusst wird, und zwar verengt sich der Spalt mit zunehmenden CO₂-Gehalt. Durch eine CO₂-Konzentrationserhöhung ist es deshalb möglich, die Transpiration herabzusetzen und gleichzeitig den erhöhten Diffusionswiderstand gegen CO₂ durch das erhöhte CO₂-Angebot zu kompensieren, so daß insgesamt der Transpirationsquotient günstig beeinflusst wird.

wie bereits oben erwähnt, wird die Verwendung von CO₂ zur Ertragssteigerung schon seit längerer Zeit praktiziert, neu je-

doch ist der Einsatz von CO_2 zur Verminderung der Transpiration durch Verkleinerung der Spaltenweite der Stomata. Daß der Öffnungszustand der Spaltöffnungen - außer von dem Wasserzustand der Pflanze und den Lichtverhältnissen - auch von dem CO_2 -Gehalt der Luft abhängt, war früher nur vermutet worden, konnte schließlich aber auch bewiesen werden (RASCHKE 1965). Die Charakteristik des Zusammenhanges zwischen Stomatabewegung und CO_2 -Gehalt der Luft blieb allerdings noch offen. Einerseits könnte es sich um einen "Steuermechanismus" handeln, das heißt, daß die Spaltenweite irgendeine Funktion von der CO_2 -Konzentration der Luft ist, bzw. daß zwischen beiden Größen eine feste Beziehung, z.B. Proportionalität, besteht. Die andere mögliche Art des Zusammenhanges wäre durch den Begriff "Reglung" zu bezeichnen.

In grundlegenden Arbeiten zu diesem Problem konnte RASCHKE (1965, 1966) erneut bestätigen, daß die Spaltöffnungsweiten selbst auch durch die CO_2 -Konzentration der Luft beeinflusst werden. Nach seinen Angaben vermögen die Schließzellen der empfindlich reagierenden Stomata der Maisblätter, den CO_2 -Gehalt zu "messen"; andererseits erfolgt im Interzellularsystem eine Erfassung der jeweiligen Ist- und Sollwerte durch die Mesophyllzellen. Die Stomata wirken also wie die Glieder eines schwingungsfähigen CO_2 -Regelsystems und vermögen so, den in das Blatt fließenden CO_2 -Strom, durch Veränderung der Spaltenweite, weitgehend zu regulieren. Danach bedingt also nicht so sehr die Apertur die Photosyntheseintensität, sondern die Größenordnung der CO_2 -Aufnahme bestimmt mehr die Spaltenweite.

Über den Mechanismus der Stomatabewegungen liegen eine ganze Reihe von Arbeiten vor, u.a. von SAYRE (1923), WEBER (1923), KERL (1930), GÄUMANN und JAAG (1937), FREUDENBERGER (1941), HEATH (1949, 1950, 1959), SCARTH und SHAW (1951), PISEK und WINKLER (1953), STÄLFELT (1955, 1956, 1957, 1959), LEMÉE (1956), LUNDEGÅRDH (1960) und KETELAPPER (1963).

Die physiologischen Vorgänge, die zum Öffnen oder Schließen der Spaltöffnungen führen, sind im einzelnen noch nicht genau bekannt. Es gibt verschiedene Theorien, die den Einfluß von CO_2 und Licht zu erklären versuchen.

Nach der klassischen Theorie über den Mechanismus der Stomatabewegungen wird der Turgor der Schließzellen, der letztlich die Spaltenweite bestimmt, über den CO_2 -Gehalt in den Interzellularräumen und den osmotischen Wert folgendermaßen beeinflusst: Durch eine Erhöhung der CO_2 -Konzentration sinkt der pH-Wert in der Zelle ab. Das hat zur Folge, daß aus Zucker durch Beeinflussung der Enzymaktivitäten Stärke gebildet wird (Enzymtheorie). Dadurch sinkt der osmotische Wert in den Schließzellen, der Turgor nimmt ab und die Spaltöffnungen schließen sich. Der Eintritt von CO_2 in das Blattinnere wird unterbrochen. Nimmt der CO_2 -Gehalt später durch Einbau von CO_2 in organische Verbindungen wieder ab, so steigt der pH-Wert wieder an, die Stärke wird in Zucker gespalten und der osmotische Wert steigt. Die Schließzellen vermögen dann durch den erhöhten Saugdruck wieder Wasser aufzunehmen, werden turgeszent und die Spaltöffnungen öffnen sich wieder. Auch der Lichteinfluß auf die Stomatabewegungen wird durch diese Theorie erklärt: Bei Dunkelheit und damit gehemmter CO_2 -Assimilation kommt es zu einer relativen Anreicherung von CO_2 in dem Blattinnern, wodurch sich die Spaltöffnungen schließen. Nachfolgende Belichtung vermindert durch das Einsetzen der Photosynthese den CO_2 -Gehalt und die Spaltöffnungen öffnen sich wieder.

Neuerdings erwähnte STÄLFELT (1966), daß die Differenz des osmotischen Wertes zwischen Schließzellen und Epidermiszellen ("osmotisches Potential") sich für die Stomatabewegungen als äußerst wichtig erwies. Höherer osmotischer Wert der Epidermiszellen führt zur Aufnahme von Wasser aus den Schließzellen und die Spalten schließen sich. Bei niedrigem osmotischen Wert der Epidermiszellen ist es umgekehrt. Die auf diesem System beruhenden Spaltenbewegungen werden "osmopassiv" genannt, im Gegensatz zu den lange bekannten Turgorveränderungen in den Epidermiszellen ("turgorpassiv"). Diese "osmopassive Form" des Spaltenschließens setzt eher und schneller ein als das hydroaktive Schließen, welches auf einer Abnahme des osmotischen Wertes der Schließzellen beruht.

Eine andere Theorie, die den Mechanismus der Stomatabewegungen zu erklären versucht, vertritt KETELAPPER (1963): Nach seiner

Meinung ist es gut möglich, daß die CO_2 -Konzentration aktive Transportvorgänge beeinflußt, die ihrerseits den osmotischen Wert und damit letztlich auch den Turgor der Schließzellen steuern.

III. Eigene Untersuchungen

1. Fragestellung

Die Evapotranspiration weist in den ariden Gebieten sehr hohe Werte auf. Sie erreicht im Laufe des Tages ihren maximalen Wert und drängt alle anderen Wachstumsfaktoren in den Hintergrund, so daß sie der einzige begrenzen- de Faktor für die Stoffproduktion zu sein scheint. Die Pflanze benötigt daher große Wassermengen, um ihre durch starke Transpiration verursachten Wasserverluste auszugleichen. Diese großen Wassermengen stehen der Pflanze aber oft nicht zur Verfügung, oder die Wassernachlieferungsgeschwindigkeit reicht nicht aus, so daß in der Pflanze ein großes Wasserdefizit eintritt. Das hat zur Folge, daß der Stoffwechsel der Pflanze empfindlich gestört wird: Der Turgor der Zellen sinkt, Synthesevorgänge werden gehemmt und Abbauvorgänge verstärkt. Mit anhaltendem Wasserdefizit verstärken sich diese Störungen und es kommt zu irreversiblen Schäden, die schließlich zum Tode der Pflanzen führen können. Die Pflanzen verbrauchen also unter ariden Bedingungen sehr viel Wasser und erbringen trotzdem im allgemeinen nur niedrige Erträge. Der Transpirationsquotient steigt auf sehr hohe Werte an (2000 - 5000).

Wenn man bedenkt, daß die Pflanze von der aufgenommenen Wassermenge 98 - 99 % wieder in die Atmosphäre abgibt und nur 1 - 2 % zur Aufrechterhaltung ihres Turgors und als Baumaterial benötigt (SCHARRER 1953, GALE und HAGAN 1966) erkennt man, wie verschwenderisch die Pflanze mit Wasser umgeht, bzw. wie schlecht ihre Wasserausnutzung ist. Um auch unter ariden Bedingungen eine befriedigende Pflanzenproduktion zu erreichen, ist man bestrebt, den Transpirationsquotienten zu senken, und zwar durch Herabsetzung der Evaporation, insbesondere aber der Transpiration.

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit war, den Einfluß hoher Luftfeuchtigkeit und des CO₂-Gehaltes der Luft auf das Wachstum der Pflanze, ihr Verhalten und ihre Entwicklung zu studieren. Außerdem sollte die Ertragsbildung und der Wasserverbrauch im Sinne einer Herabsetzung des Transpirationsquotienten, sowie die Nähr-

stoffaufnahme und -verteilung in der Pflanze untersucht werden.

Zu diesem Zweck wurden Hafer- und Rapspflanzen in einem geschlossenen System, aber ohne Rückgewinnung des Wassers, mit unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit und CO_2 -Konzentration kultiviert; die anderen Wachstumsfaktoren wurden bei allen Versuchsvarianten konstant gehalten. Es handelt sich hier nicht um die Prüfung einer bestimmten Hypothese, sondern um den Versuch einer Klarstellung der von den einzelnen Autoren umstrittenen Auffassungen hinsichtlich des Einflusses hoher Luftfeuchtigkeit und des CO_2 -Gehaltes der Luft auf die verschiedenen physiologischen Prozesse der Pflanze.

Die Bedeutung dieser Versuche für praktische Anwendungen wird darin gesehen, im Rahmen des industriellen Pflanzenbaus in ariden Gebieten den hohen Transpirationsquotient herabsetzen, bzw. höhere Erträge mit geringstem Wasserverbrauch erzielen zu können.

2. Versuchsdurchführung

a) Haferversuch 1967

Beschreibung der Versuchsanlage

Die Versuchsanlage bestand aus vier gleich großen Vegetationskästen von 170 cm Höhe, 100 cm Breite und 100 cm Tiefe. Die Kästen waren aus einem Holzrahmen, der mit Polyäthylenfolie (Helioflex, Dicke 0,15 mm) bespannt war, angefertigt worden (Tabelle 2 - Anhang). Der Boden jedes Kastens bestand aus einem Holzrost, durch den die Luft eingeleitet wurde, um die Bildung von Luftwirbeln einzuschränken. Jeder Vegetationskasten wurde auf eine Kiste von 30 cm Höhe und 100 cm Breite gesetzt. In diesen Kisten wurde die Be- oder Entfeuchtung durchgeführt (Abb.12,13).

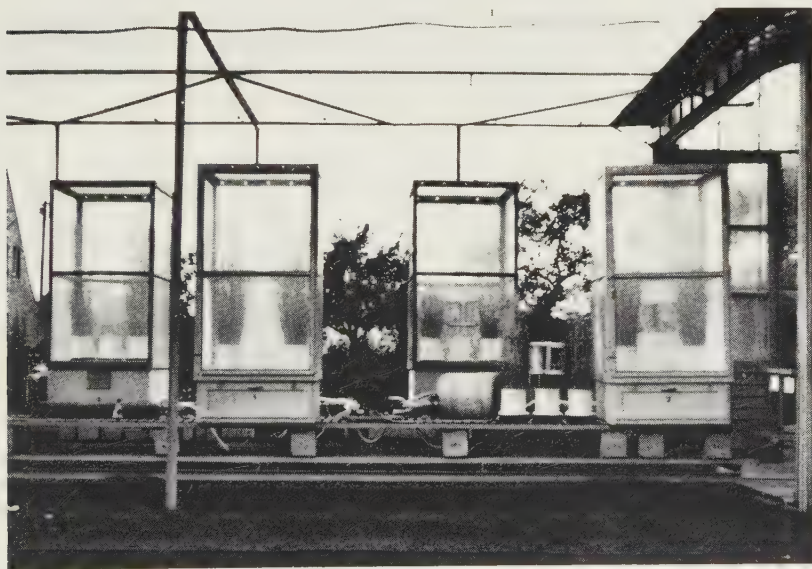


Abb. 12

a) Die Versuchsanlage



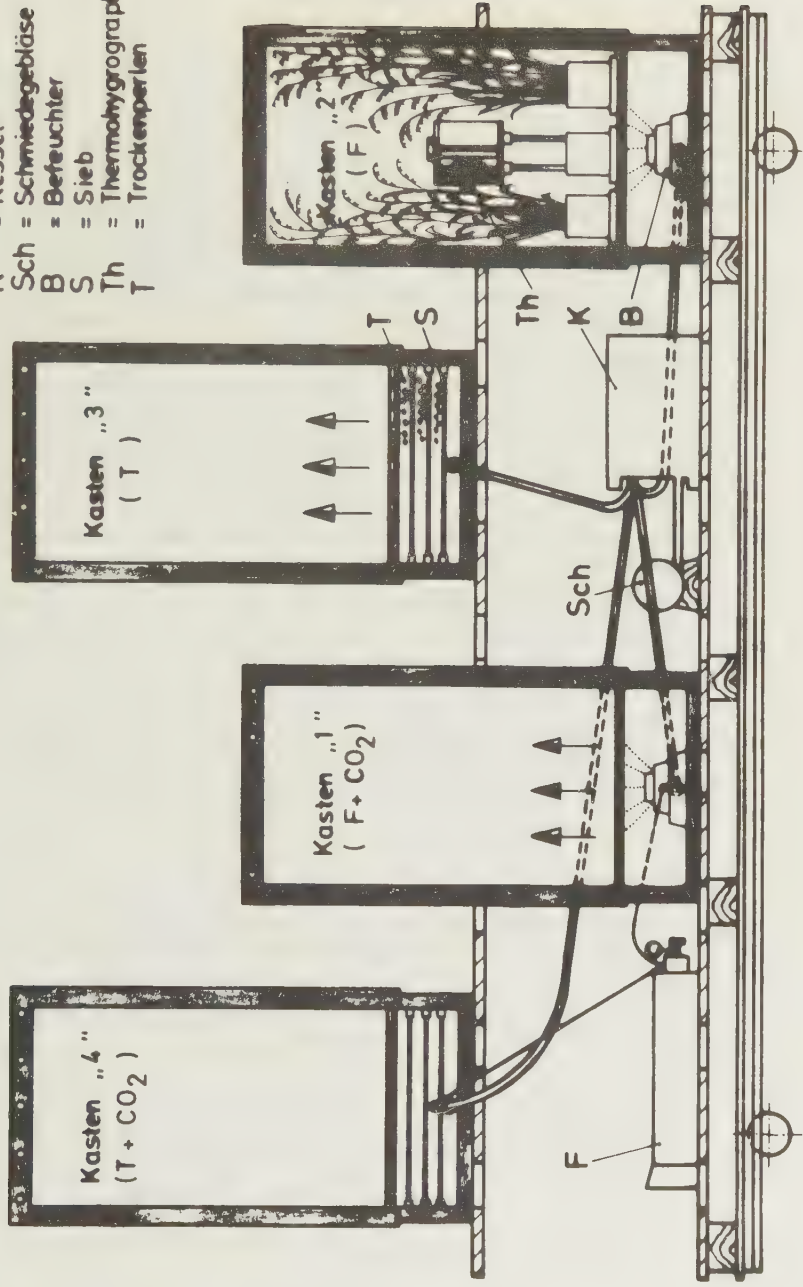
Abb. 12 b) Feuchtkasten



c) Trockenkasten

Versuchsanordnung

- F = CO₂-Flasche
- K = Kessel
- Sch = Schmelzegebläse
- B = Befeuchter
- S = Sieb
- Th = Thermohygrograph
- T = Trockenperlen



Die vier Vegetationskästen wurden durch ein Schmiedegebläse gleich stark belüftet. Die Luft wurde durch einen Plastikschauch von 38 cm Länge und 4 cm Durchmesser zuerst in ein Verteilergefäß (Plastikkessel, 56 l Inhalt) und von dort durch vier gleich große Verteilerschläuche aus Plastik in die Kisten geleitet, so daß die Luft dann von unten in die darüber befindlichen Vegetationskästen einströmen konnte. Die Verteilerschläuche wiesen eine Länge von 3,75 m auf und ihr Querschnitt betrug $1/4$ des Querschnitts des Gebläseschlauches. Die Strömungswiderstände waren also gering. Die Windgeschwindigkeit in dem Hauptschlauch und den Verteilerschläuchen wurde mit einem Strömungsmesser (thermoelektrisches Hitzdraht-Anemometer) gemessen. Bei der Messung wurde die Meßsonde des Gerätes in eine verschließbare Öffnung des betreffenden Schlauches gesteckt. Aus den auf der Skala des Meßgerätes abgelesenen Wert wurde anhand einer Eichkurve die Strömungsgeschwindigkeit ermittelt. Sie betrug in den Verteilerschläuchen 20 m/Sek. bzw. 72 000 m/St.

Aus der Strömungsgeschwindigkeit in dem Verteilerschlauch und seinem Querschnitt ($3,1416 \text{ cm}^2$) errechnet sich durch Multiplikation beider Größen die einem Vegetationskasten in einer Stunde zugeführte Luftmenge ($22,62 \text{ m}^3/\text{Std.}$).

Die Luftumwälzung oder der Luftwechsel (LÜCK 1964) in dem Vegetationskasten je Stunde ergibt sich aus der zugeführten Luftmenge ($L = 22,62 \text{ m}^3/\text{Std.}$) und dem Volumen des Kastens ($V = 2 \text{ m}^3$).

$$\text{Luftumwälzung} = \frac{L}{V} = \frac{22,62}{2} = 11,3$$

Das heißt, die Luft wurde in jedem Kasten 11,3 mal in der Stunde erneuert.

Die Strömungsgeschwindigkeit in den Vegetationskästen, die für den Gasaustausch von Bedeutung ist, wurde aus der Strömungsgeschwindigkeit in den Verteilerschläuchen (SV) und dem Querschnitt des Verteilerschlauches (QV) und des Vegetationskastens ($QK = 1 \text{ m}^2$) folgendermaßen errechnet:

Strömungsgeschwindigkeit in den Vegetationskästen

$$= \frac{SV \times QV}{QK} = \frac{20 \times 0,00031416}{1} = 0,0063 \text{ m/Sek.}$$

Bei den durchgeführten Berechnungen wurde die Kompressibilität der Luft nicht berücksichtigt, da die Druckunterschiede in dem System nur gering waren.

Vor Beginn des Versuches wurde errechnet, welche CO_2 -Mengen je Zeiteinheit mit der Luft den Vegetationskästen zugeführt und ob der CO_2 -Bedarf der Pflanzen dadurch in ausreichendem Maße gedeckt ist. Hierbei muß nur der Zeitraum, in dem der größte Ertragszuwachs erfolgt, berücksichtigt werden, da zu dieser Zeit die Gefahr einer ungenügenden CO_2 -Zufuhr am größten ist. Wie aus der S-förmigen Ertragskurve für Hafer (SCHARRER und MENGEL 1960) entnommen werden kann, ist der Ertragszuwachs zwischen der 3. und 4. Woche am größten. Er beträgt in 7 Tagen 24 Gramm je Gefäß und - da sich bei unserem Versuch 8 Gefäße in einem Vegetationskasten befinden - 192 Gramm je Kasten. Daraus errechnet sich eine tägliche Substanzzunahme von 27,4 g und - da der Ertrag vor allem während der 12 Tagesstunden gebildet wird - von 2,28 Gramm je Stunde.

Unter Annahme, daß die gebildete organische Substanz als Kohlenhydrat vorliegt, entsprechen 2,28 Gramm Trockensubstanz 3,34 g CO_2 . Das bedeutet, diese CO_2 -Menge wird in der Zeit des stärksten Wachstums am Tage der Luft in einer Stunde entnommen.

In dem Zeitraum von einer Stunde wurden einem Vegetationskasten 22,62 m³ Luft, deren CO_2 -Gehalt 0,03 Vol.-% beträgt, zugeführt und darin 6,78 Liter gasförmiges CO_2 .

Aus der Zustandsgleichung für ideale Gase

$$V \times P = \frac{m \times R \times T}{M}$$

läßt sich die zugeführte CO_2 -Menge in Gramm errechnen. In der Gleichung bedeuten V das CO_2 -Volumen, P den Druck (at), m die Masse (g), R die Gaskonstante, T die absolute Temperatur und M das Molekulargewicht.

Unter der Annahme, daß der Druck eine Atmosphäre und die Temperatur 25°C betrug, errechnet sich die CO₂-Menge folgendermaßen:

$$\text{CO}_2\text{-Menge (g)} = m = \frac{V \times P \times M}{R \times T} = \frac{6,78 \times 1 \times 44}{0,08206 \times 298} = 12,20 \text{ g/Std.}$$

Der CO₂-Zufuhr von 12,20 g stand also ein Verbrauch von 3,34 g gegenüber. Das bedeutet, daß der CO₂-Gehalt der einströmenden Luft durch die CO₂-Assimilation um 27,4 % erniedrigt wurde, bzw. die niedrigste "Restkohlenensäure" (REINAU 1957) betrug 72,6 % des normalen CO₂-Wertes. Im Freiland sinkt der CO₂-Gehalt in der unmittelbaren Nähe stark assimilierender Pflanzen bei Windstille um etwa 70 % (Restkohlenensäure = 30 %) ab (HEATH 1959, STÄLFELT 1960 a, ORCHARD und HEATH 1964).

Die CO₂-Zufuhr in die Kästen war also auch zur Zeit der größten Ertragszunahme für ein normales Wachstum ausreichend.

Die Befeuchtung der Luft wurde in den Kisten, also vor dem Einströmen in die Vegetationskästen 1 und 2, durchgeführt. Das geschah durch zwei elektrische Luftbefeuchter, die sich in der Mitte der Kisten befanden und mit konstanter Leistung arbeiteten. Die Entfeuchtung der Luft für die Vegetationskästen 3 und 4 wurde ebenfalls in den Kisten vorgenommen. Die Entfeuchtung wurde durch Kieselgel-Trockenperlen (Trockenperlen mit blauem Indikator, Herstellerfirma: Kalichemie) erreicht. Die Trockenperlen waren auf drei in der Kiste übereinandergesetzten Sieben verteilt. Zweimal am Tag wurden sie durch frischgetrocknete Perlen erneuert.

Die Kästen 1 und 4 erhielten aus einer Stahlflasche eine zusätzliche CO₂-Zufuhr, so daß in ihnen die CO₂-Konzentration der zugeführten Luft 0,10 bis 0,15 % betrug (BROWN und ESCOMBE 1902, LUNDEGÄRDH 1960, BIERHUIZEN und PLOEGMAN 1966). Die CO₂-Zufuhr wurde anhand eines Blasen Zählers kontrolliert und eines Reduzierventils reguliert. Die gesamte Versuchsanlage wurde auf drei in der Vegetationshalle nebeneinander stehenden Wagen angeordnet und bei gutem Wetter von 9 - 18 Uhr ins Freie gefahren.

Anzucht der Versuchspflanzen und Methodik

Am 18.3. wurden 45 Mitscherlichgefäße (Größe I) mit je 6,5 kg lufttrockenem Boden (Boden Wissmar) gefüllt. Beim Boden Wissmar handelt es sich um einen schwach sauren lehmigen Sandboden mit mässiger bis schlechter Versorgung an P und K, guter Versorgung an Mg und ausreichender Versorgung an Mikronährstoffen. Die maximale Wasserkapazität betrug 30 %. Dem Boden wurden je Gefäß 12 g NPK-Volldünger (6/12/18) zugemischt. Nach dem Ansetzen der Gefäße wurde die Bodenfeuchtigkeit auf 50 % der maximalen Wasserkapazität gebracht.

Am 7.4. wurden 30 Haferkörner (Sorte Flämingsskrone) in jedes Gefäß ausgesät. Nach der Saat wurde die Bodenfeuchtigkeit auf 70 % der max. Wasserkapazität gebracht und bis zum Versuchsbeginn bei dieser Feuchtigkeit gehalten. Am 5.5. wurden die Pflanzen in jedem Gefäß auf 22 vereinzelt.

Am 30.5., eine Woche nach Schoßbeginn, begann der eigentliche Versuch. Die 45 Gefäße wurden in 5 Gruppen bzw. Varianten aufgeteilt (9 Gefäße/Variante). Ein Gefäß jeder Gruppe wurde als "Blindgefäß" sofort geerntet und die Pflanzen getrocknet. Der Trockenерtrag des Blindgefäßes wurde als Ausgangsertrag betrachtet und später vom Mittelwert des Ertrags jeder Variante abgezogen, um den Nettoertrag, d.h. den Ertragszuwachs während des Versuchs, zu ermitteln. Die Blindgefäße dienten dann weiterhin während des Versuchs zur Ermittlung der Evaporation der Bodenoberfläche. Hierzu wurde in die Mitte jeder Gruppe das abgeerntete Blindgefäß gestellt. Um die Evaporation des Bodens zu vermindern, wurde die Bodenoberfläche jedes Gefäßes mit 400 g eines inerten Materials (Polystyrol-Granulat; Herstellerfirma: B.A.S.F.) abgedeckt. Jedem Gefäß wurden 0,5 g N als Ammonitrat in gelöster Form zugegeben. Diese N-Gabe wurde nach zwei Wochen wiederholt.

Die Gefäße der verschiedenen Varianten wurden am selben Tag (30.5.) wie folgt in die Kästen eingesetzt:

Variante I	Kontrolle	(in der Halle)
Variante IV	Feucht + CO ₂	(im Kasten 1)
Variante II	Feucht	(im Kasten 2)
Variante III	Trocken	(im Kasten 3)
Variante V	Trocken + CO ₂	(im Kasten 4)

Die Gefäße wurden täglich um 8 Uhr 30 gewogen und die Wasserverluste ergänzt. Nach dem Gießen wurde die Stellung der Gefäße innerhalb jeder Gruppe im Kreis gewechselt, um systematische Variationsursachen (Randeffekt) auszuschalten. Die Begasung der Kästen 1 und 4 dauerte täglich 8 Stunden (von 9 - 17 Uhr). Die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit wurden durch drei Thermohygrographen, die sich in den Kästen 2, 3 und bei der Kontrolle befanden, aufgezeichnet.

Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Verlauf der Vegetationsperiode

Aus den Thermohygrogrammen der drei Thermohygrographen lässt sich ablesen, daß die Temperatur in den Feuchtkästen tagsüber (Wochendurchschnitt) um 3 - 8°C, in den Trockenkästen um 7 - 13°C höher war als in der Halle (Abb. 14 und Tab. 3 - Anhang). Die hohe Temperatur in den Kästen war zum größten Teil durch die relativ schwache Luftumwälzung (11 mal/Std.) bedingt. Zum Vergleich: In Gewächshäusern werden Luftumwälzungen von 50 - 100 mal/Std. vorgenommen, um höhere Temperaturen zu vermeiden (HOARE und MORRIS 1955/56). Die Luftumwälzung im Phytothron von Rauschholzhausen beträgt z.B. 180 mal/Std. (BRETSCHNEIDER-HERRMANN 1967). Trotzdem wurde die hohe Temperatur in den Kästen bewußt nicht gesenkt, um festzustellen, wie die Pflanzen hierauf reagierten. Wie schon in der Fragestellung erwähnt, war der Sinn der Versuche weniger, eine Hypothese zu prüfen, als das Verhalten der Pflanzen auf die Versuchsbedingungen zu studieren und zu sehen, welche Probleme auftreten können.

An heißen Tagen stieg die Temperatur in den Feuchtkästen zeitweise auf 35 - 45°C, in den Trockenkästen auf 40 - 50°C. Nachts waren die Temperaturunterschiede zwischen der Atmosphäre in den Kästen und im Freien sehr gering. Die Temperatur in den Feucht-

kästen war am Tag etwas niedriger als in den Trockenkästen, während der Nacht dagegen war es umgekehrt. Die Luftfeuchtigkeit hat hier ausgleichend auf die Temperaturschwankungen gewirkt. Die relative Luftfeuchtigkeit, die auch von der Temperatur abhängig ist, schwankte ebenfalls. Sie fiel an heißen Tagen in den Feuchtkästen bis auf 60 - 70 % ab. Nachts und an bewölkten Tagen stieg sie bis auf 100 % an. In den Trockenkästen dagegen stieg die Feuchtigkeit an heißen Tagen auf 50 - 70 % an, an kühlen Tagen und nachts war sie niedriger. Das beruhte darauf, daß in den ersten vier Wochen des Versuches die Pflanzenmasse (8 und 6 Gefäße) im Verhältnis zum Volumen des Kastens (2 m^3) zu groß war, so daß die Ausscheidung relativ beträchtlicher Wassermengen durch Transpiration an heißen Stunden die Feuchtigkeit stark erhöhte. Nachts war die Feuchtigkeit geringer (50 - 60 %). Die hohe Luftfeuchtigkeit in den Trockenkästen tagsüber nahm also im Laufe der Vegetationszeit ab. Bei jeder Ernte wurden 2 Gefäße entfernt, so daß nach der 3. Ernte nur 4 Gefäße in jedem Kasten blieben. Um einerseits die Temperatur herabzusetzen und andererseits die hohe relative Luftfeuchtigkeit in den Trockenkästen zu senken, wäre eine höhere Luftumwälzung wünschenswert gewesen.

Es ist noch zu erwähnen, daß im Jahre 1967 das Wetter besonders sonnig und warm war und einen günstigen Einfluß auf das Wachstum der Pflanzen hatte.

Wachstumsverlauf und Entwicklung der Versuchspflanzen

Die Pflanzen entwickelten sich im allgemeinen gut und innerhalb der Varianten gleichmäßig. In der ersten Woche nach Versuchsbeginn erreichte die relative Luftfeuchtigkeit in den Feuchtkästen nachts 100 %, wodurch die Pflanzen stark guttierten. Außerdem kondensierte sich Wasserdampf, und das Wasser lief auf den Pflanzen ab, so daß sie wahrscheinlich einer starken Auswaschung ausgesetzt waren. Dies führte zu unvermeidlichen Nährstoffverlusten (WAGNER 1932, IVANOV 1963). Deshalb wurde in der Folgezeit an kühlen und feuchten Nächten von einer Befeuchtung abgesehen.

Bereits eine Woche nach Versuchsbeginn ließen sich deutliche Höhenunterschiede zwischen Kontrollpflanzen einerseits und Feucht- und Trockenpflanzen andererseits feststellen (Kontrolle 45 cm; Feucht 54 cm; Trocken 52 cm). Diese Unterschiede im Längenwachstum hielten bis zur Reife an. Die Ursache mag hauptsächlich in der unterschiedlichen Temperatur begründet sein (KUHNKE 1936). Eine andere Ursache lag in der hohen Luftfeuchtigkeit in den Feucht- und auch in den Trockenkästen (während der ersten Hälfte des Versuchs herrschte auch in den Trockenkästen eine hohe relative Luftfeuchte). Zur gleichen Zeit zeigten die Feuchtpflanzen eine stärkere, die Trockenpflanzen eine schwächere Aufhellung als die Kontrollpflanzen (Abb. 15).

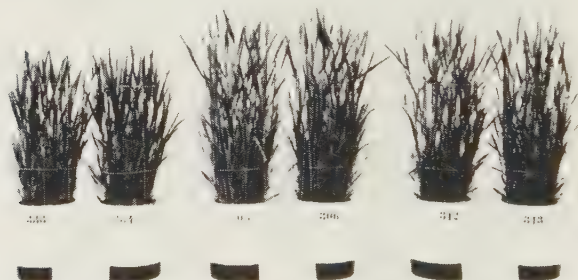


Abb. 15

Gefäß Nr.	333, 334	305, 306	342, 343
	Kontrolle	Feucht	Trocken

Haferpflanzen (8.6.67).

Sehr wahrscheinlich wurde das durch die Wassersättigung der Luft während der Nacht und an bewölkten Tagen verursacht. Wie bereits erwähnt, erfolgte eine Einschränkung der Transpiration, die eine verminderte Aufnahme der Nährstoffe und eine starke Guttation bewirkte. Außerdem führte die Sättigung der Atmosphäre mit Wasserdampf sehr wahrscheinlich zur Auswaschung der Nähr-

stoffe aus den Blättern, d.h. zu beachtlichen Nährstoffverlusten. Gleichzeitig traten an der Spitze und in der Mitte der Blätter der Versuchspflanzen helle, chlorophyllfreie Streifen auf, die zunächst als Hitzeschäden gedeutet wurden. Eine Woche später zeigten die Rispen der gleichen Pflanzen ähnliche Erscheinungen. Die Ährchen waren weiß, blieben taub und verkümmerten. Die Kontrollpflanzen dagegen waren sehr wenig geschädigt. Am 16.6. wurden die geschädigten Blätter und Rispen innerhalb jeder Variante gezählt (Tab. 4).

Kontrolle		Feucht		Trocken		F + CO ₂		T + CO ₂	
Blätter	Rispen	Bl.	Ri.	Bl.	Ri.	Bl.	Ri.	Bl.	Ri.
27	4	75	49	56	38	65	47	45	20

Tab.4: Zahl der geschädigten Blätter und Rispen jeder Variante (Summe aus 6 Gefäßen)

Rispenstadien und Blühbeginn erfolgten bei den Versuchspflanzen am 9. und 16.6., das war jeweils eine Woche früher als bei den Kontrollpflanzen. Zu erwähnen ist noch ein Befall mit Blattläusen (Pfirsichblattlaus; *Myzus persicae*), der bei den Versuchspflanzen durch eine Spritzung mit E 605 Forte (50 ml/100 l Wasser) behoben wurde, bei der Kontrolle aber mehrere Spritzungen erforderte.

Drei Wochen nach Versuchsbeginn zeigten die mit CO₂ begasten Pflanzen ein besseres Wachstum und eine frühzeitige Reifeerscheinung (die unteren Blätter vergilbten und vertrockneten). Diese Erscheinung war an den Trockenpflanzen deutlicher und früher zu sehen als an den Feuchtpflanzen (Abb. 16). Vom Versuchsbeginn an transpirierten die Feuchtpflanzen viel weniger als die Trockenpflanzen, und die begasten weniger als die nichtbegasten. Die CO₂-Begasung hatte also einen deutlichen Einfluß auf die Stärke der Transpiration. Es ist anzunehmen, daß die Spaltöffnungen auf die erhöhte CO₂-Konzentration mit einer Verengung der Spalten reagierten, so daß die Transpiration eingeschränkt wurde.

Es wurde beobachtet, daß das Eindringen des Gießwassers wegen Verschlämmung des Bodens verlangsamt war, so daß das Wasser mitunter einige Zeit an der Oberfläche stand, was zu einer er-

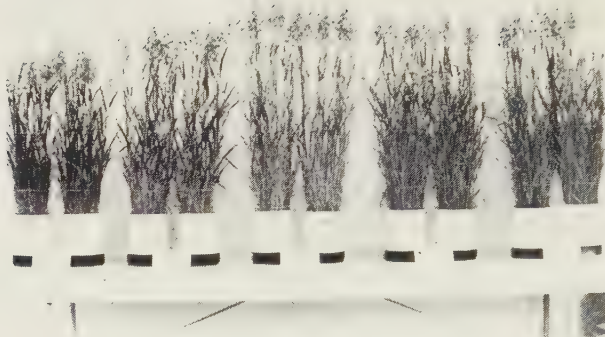


Abb. 16

a)

Gef. Nr.	332,333	314,315	323,324	305,306	296,297
	Kontrolle	Trocken	T + CO ₂	Feucht	F + CO ₂

Haferpflanzen (29.6.67)



b)

Gef.Nr.	298,299	307,308	316,317	325,326	334,335
	F + CO ₂	Feucht	Trocken	T + CO ₂	Kontrolle

Haferpflanzen (14.7.1967)

höhten Evaporation und einem Absinken des Wassergehaltes im Boden (Wassermangel) führte.

Vier Wochen nach Versuchsbeginn ließen die Feuchtpflanzen starke Bestockung erkennen, wobei sich die begasten Pflanzen wiederum stärker als die nichtbegasten bestockten. Die Frisch- und Trockengewichte nahmen entsprechend zu.

Wegen der hohen Luftfeuchtigkeit, nachts und an kühlen Tagen, waren die Rispen an den Haupthalmen der Feuchtpflanzen zum Teil taub (Verhinderung der Keimung der Pollenkörner durch hohe Luftfeuchtigkeit; LINSKENS 1967). Das Auftreten von Taubrispen war bei den nichtbegasten bedeutend stärker als bei den begasten Pflanzen und hat den Kornansatz stark vermindert. Außerdem konnte man eine Reifebeschleunigung von einer Woche bei den begasten Feucht- und von einer Woche und mehr bei den begasten Trockenpflanzen feststellen.

Ernte

Ernten erfolgten zu vier verschiedenen Zeitpunkten: zwei, vier, sechs und neun Wochen nach Versuchsbeginn. Die Pflanzen wurden direkt über dem Erdboden abgeschnitten, die Wurzeln ausgewaschen und das ganze Material im Trockenschrank (80°C) getrocknet. Zu jedem Erntetermin wurden 10 Gefäße geerntet (2 Gefäße je Variante). Die Blätter sowie die Internodien wurden, von oben nach unten, in drei Etagen geerntet. Diese Unterteilung bezweckte, bei der späteren Analyse die Nährstoffaufnahme und -verteilung in der Pflanze untersuchen zu können.

Die letzte Ernte erfolgte, nachdem die Trocken- und Kontrollpflanzen völlig trocken und ausgereift waren. Bei den Feuchtpflanzen war zu diesem Zeitpunkt der größte Teil der Nachschosser noch grün. Es fragt sich, ob es richtiger gewesen wäre, jede Variante erst nach völliger Reife abzuernten. Die Bestimmung der Trockensubstanz wurde nach Trocknung bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz vorgenommen. Die Bestimmung von N erfolgte nach KJELDAHL, P_2O_5 wurde kolorimetrisch bestimmt. Die K-, Ca- und Mg-Bestimmung erfolgte mittels Atom-Absorptions-Spektralphotometrie (AAS). Da diese Bestimmung (durch AAS) von den bisher

angegebenen Arbeitsvorschriften abweicht, sei sie kurz erläutert: 1 g der lufttrockenen, feingemahlenden Substanz wird bei 450 - 500°C im Muffelofen verascht, nach dem Erkalten mit etwas Wasser angefeuchtet und nach Zugabe von 5 ml 5 n HNO_3 kurzzeitig erwärmt. Die Lösung mit den Ascheresten wird in einem 100er Meßkolben filtriert, mit heißem Wasser nachgewaschen und nach dem Abkühlen mit bidestilliertem Wasser zur Marke aufgefüllt (= Aschenlösung). Die Probe ist damit fertig für die Bestimmung der Mineralstoffe im AAS (JUDEL und HEILENZ 1969).

b) Rapsversuch 1967

Beschreibung der Versuchsanlage

Die Versuchsanordnung war die gleiche wie beim Haferversuch, gleich blieb die gesamte Versuchsanlage Tag und Nacht in der Vegetationshalle. Die zwei Luftbefeuchter waren während der Nacht ausgeschaltet.

Ausgang der Versuchspflanzen und Methodik

Der Rapsversuch wurde unter den gleichen Bedingungen wie der Haferversuch durchgeführt.

Am 27.8. wurden 25 Mitscherlich-Gefäße mit "Boden Obertshausen" gefüllt (17,2 kg lufttrockener Boden je Gefäß). Dieser Boden ist ein schwach saurer, schwach lehmiger Sandboden, der mit P und K ausreichend, mit Mg mäßig versorgt ist. Die max. Wasserkapazität betrug 26 %.

Da beim Haferversuch 1967 ein schlechtes Eindringen des Gießwassers in den Boden und eine beachtliche Evaporation festgestellt wurden, kam der Gedanke an die Anwendung des Gießrohrverfahrens (BOGUSLAVSKI 1940). Da aber das Gießrohr gegenüber dem großen Wasserbedarf der Pflanzen (etwa 1 l/Gefäß/Tag) einen geringen Inhalt (0,1 l) hat, wurde an einen umgestülpten, perforierten Plastiktrichter von 0,8 l Inhalt mit geschlossenem Boden gedacht (Abb. 17a). Die Herstellung eines solchen Trichters ist jedoch mit erheblichen Kosten verbunden. Daher wurde auf eine perforierte Plastikflasche (0,7 l Inhalt) zurückgegriffen (Abb. 17b).

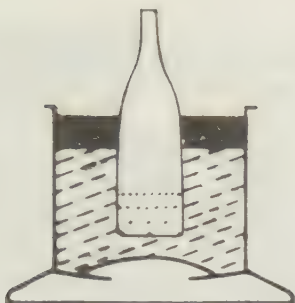
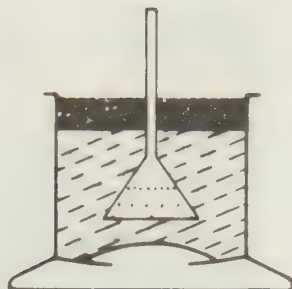


Abb.17

a)

Mitscherlichgefäß mit
perforierter Plastik-
flasche



b)

Mitscherlichgefäß mit
umgestülptem Trichter

In diesem Versuch wurden noch zwei weitere Gefäße zu den Kontrollgefäßen gesetzt. Diese zwei Gefäße wurden in gleicher Weise wie die Kontrollgefäße behandelt, nur wurde bei ihnen die Plastikflasche bis zum untersten Drittel des Bodens gesetzt, um die Evaporation weitgehend zu verhindern und um zu prüfen, wie die Pflanzen sich verhalten und wachsen.

Am 23.8. wurden 30 Rapssamen (Sorte Lihonova) in jedes Gefäß ausgesät. Am 4.9. wurden die Pflanzen auf 20 vereinzelt. Nach der Saat wurde die Bodenfeuchtigkeit auf 60 % der maximalen Wasserkapazität gebracht und bis zum Versuchsbeginn bei diesem Wert gehalten. Der Versuch begann am 12.9., d.h. drei Wochen nach der Aussaat und verlief unter den gleichen Bedingungen wie der Haferversuch mit der Ausnahme, daß jede der fünf Varianten aus vier Gefäßen und einem Blindgefäß bestand.

Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Verlauf der Vegetationsperiode

Die Temperatur war im Durchschnitt niedriger als beim Haferversuch; die Luftfeuchtigkeit entsprechend höher. Im allgemeinen war das Wetter unbeständig und regnerisch.

Wegen der geringeren Zahl der Gefäße in jedem Kasten (4 Gefäße) war in diesem Versuch die Feuchtigkeit in den Trockenkästen

nicht so hoch wie beim Haferversuch (geringe Wasserdampfausscheidung durch Transpiration) (Abb. 18 und Tab. 5 - Anhang).

Wachstumsverlauf und Entwicklung der Versuchspflanzen

Das Wachstum war im allgemeinen gut. Das feuchte und kühle Wetter erhöhte aber die Luftfeuchtigkeit in den Feuchtkästen und übte dadurch einen ungünstigen Einfluß auf die Feuchtpflanzen aus. Die Photosyntheseleistung war durch die verminderten Lichtverhältnisse beeinträchtigt.

Am 18.9. traten an den Blättern der Feuchtpflanzen Aufhellungen (polygonale Flecken von etwa 1 cm Ø zwischen den Blattadern) auf, die auf Mg-Mangel zurückzuführen waren (Abb. 19).

Wie beim Hafer, handelte es sich auch hierbei vermutlich um eine Hemmung der Nährstoffaufnahme. Außerdem guttierten die Feuchtpflanzen besonders stark. Dies war durch die hohe Luftfeuchtigkeit an kühlen Tagen bedingt. Die sich in den Kästen befindenden Pflanzen zeigten ein besseres Wachstum als die Kontrolle. Auch bei Raps transpirierten die mit CO₂ begasten Pflanzen weniger als die nichtbegasten und entwickelten sich besser (Abb.20).

Am 19. 9. wurden jedem Gefäß 0,3 g N als Ammonnitratlösung zugegeben. Am 29. 9. wurde die Bodenfeuchtigkeit auf 80 % der max. Wasserkapazität erhöht. Drei Wochen nach Versuchsbeginn wurden die unteren Blätter der begasten Pflanzen gelb, was als eine Verfrühung des Reifeprozesses angesehen werden kann.

Die Wasserzufuhr durch die Plastikflasche erwies sich als erfolgreich und zweckmäßig. Das Wasser verteilte sich dabei langsam und gleichmäßig im Boden. Die Evaporation wurde fast völlig eingestellt und das Durchlaufen des Wassers durch den Boden in die Auffangschale (wie es bei höheren Wassergaben in sandigen Böden oft der Fall ist), völlig vermieden. Das Wachstum der Pflanzen und die Entwicklung des Wurzelsystems waren normal.

Ernte

Die Ernte erfolgte am 10. 10., genau vier Wochen nach Versuchsbeginn, in der gleichen Art wie beim Haferversuch. Die Blätter



Abb. 19: Rapsblätter (10.10.1967)
links: Feucht rechts: Kontrolle



Abb. 20
Gef.Nr. 92 87 97 77 82
T + CO₂ Trocken Kontrolle F + CO₂ Feucht
Rapspflanzen (10.10.1967)

wurden von oben nach unten in drei Etagen, die Stengel in zwei Hälften, geerntet. Die Bestimmung der Trockensubstanz sowie der verschiedenen Nährstoffe erfolgte in der gleichen Weise wie beim Haferversuch.

c) Haferversuch 1968

Beschreibung der Versuchsanlage

Während beim Hafer- und Rapsversuch 1967 der Einfluß unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit und CO_2 -Konzentration der Luft auf den Wasserverbrauch sowie den Ertrag untersucht wurden, zielte der Haferversuch 1968 darauf ab, den Einfluß verschiedener CO_2 -Konzentrationen der Luft auf die zwei Komponenten des TQ (Trockensubstanzertrag und Wasserverbrauch) zu prüfen.

Die Versuchsanlage war die gleiche wie beim Haferversuch 1967, nur wurde diesmal von einer Be- und Entfeuchtung der Luft abgesehen. Die Umwälzung der Luft blieb ebenfalls die gleiche. Die Kästen 2, 3 und 4 erhielten eine zusätzliche CO_2 -Gabe, und zwar wurde die CO_2 -Konzentration der Luft auf 0,1, 0,2 und 0,3 % erhöht. Der Kasten 1 wurde ohne CO_2 -Zusatz belüftet, so daß der CO_2 -Gehalt in ihm, entsprechend der natürlichen CO_2 -Konzentration in der Luft, 0,03 % betrug. Die CO_2 -Zufuhr wurde vor dem Einströmen in die Kästen auf die gewünschte Konzentration mit Hilfe von drei Schlauchklemmen und einem Strömungsmesser reguliert. Um die Verteilung des CO_2 in den drei Kästen auf den erwähnten Konzentrationen möglichst konstant zu halten und die Abnahme des CO_2 -Drucks in der Stahlflasche auszugleichen, wurden zwei mit Wasser gefüllte kommunizierende Flaschen zwischen der CO_2 -Flasche und den drei Kästen aufgestellt, so daß das CO_2 zuerst in eine der Flaschen und von dort in die einzelnen Kästen weitergeleitet wurde (Abb. 21). Der CO_2 -Druck entsprach daher der Niveau-Differenz zwischen den Oberflächen der kommunizierenden Flaschen. Diese Anordnung diente einerseits zur Begrenzung der auftretenden Schwankungen des CO_2 -Drucks, d.h. zur Konstanthaltung dieses Drucks und damit der CO_2 -Zufuhr in die drei Kästen. Andererseits erlaubt die Zwei-Flaschen-Anordnung

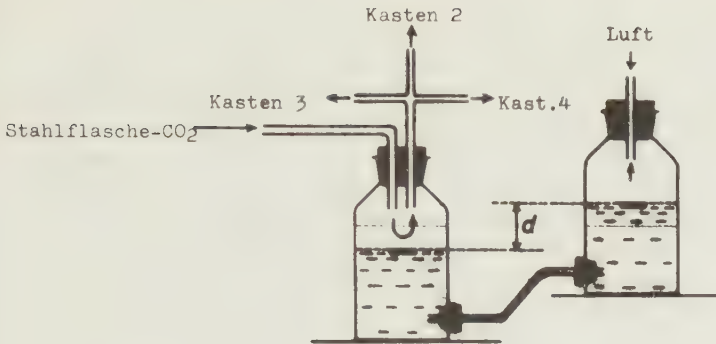


Abb. 21: Zwei kommunizierende Flaschen zur Konstanthaltung der CO_2 -Zufuhr.

direkt durch Kontrolle der zwei Niveaus in den Flaschen ständig die CO_2 -Zufuhr zu kontrollieren und durch Auf- und Zudrehen der Klemmschraube zu regulieren.

Anzucht der Versuchspflanzen und Methodik

Die Anzucht der Pflanzen war die gleiche wie beim Haferversuch 1967. Am 5.4. wurden 25 Mitscherlichgefäße (Größe I) mit Boden Kleinlinden (6 kg lufttrockener Boden pro Gefäß) gefüllt, unter Zugabe von 12 g NPK-Dünger 6/12/18. In die Mitte jedes Gefäßes und bis zum untersten Drittel des Bodens wurde eine perforierte Plastikflasche (0,7 l Inhalt) gesetzt. Wie schon erwähnt, wurde dieses Verfahren angewandt, um eine gleichmäßige Wasserverteilung in die verschiedenen Bodenschichten und eine weitgehende Einschränkung der Evaporation zu erreichen. Das an der Bodenoberfläche lange Zeit stehende Wasser führte 1967 zu hohen Wasserverlusten. Gleichzeitig litten die Pflanzen unter Wassermangel, da das Wasser nur sehr langsam zu den Wurzeln gelangte.

Am 9.4. wurden 25 Haferkörner (Sorte Flämingskrone) in jedes Gefäß ausgesät. Wegen des schlechten Aufgangs der ersten Aussaat (nur 50 %), wurden am 16.4. noch zwölf Körner in jedem Gefäß ausgesät. Am 2.5. wurden die Pflanzen auf 16 vereinzelt.

Zu Beginn des Versuchs am 27.5., kurz nach Schossbeginn, wurde zu jedem Gefäß 0,5 g N als Ammonitratlösung zugegeben. Die N-Düngung wurde am 11.6. wiederholt (0,3 g N). Im weiteren Verlauf des Versuchs wurde die Bodenfeuchtigkeit bis auf 60 % der max. Wasserkapazität gebracht. Gleich danach wurden die Gefäße in fünf Gruppen oder Varianten aufgeteilt und in die Kästen gesetzt:

Variante I	Kontrolle	(in der Halle)
Variante II	0,03 Vol.-%CO ₂	(im Kasten 1)
Variante III	0,1 Vol.-%CO ₂	(im Kasten 2)
Variante IV	0,2 Vol.-%CO ₂	(im Kasten 3)
Variante V	0,3 Vol.-%CO ₂	(im Kasten 4)

Jede Variante bestand aus vier Gefäßen und einem Blindgefäß. Die Gefäße wurden täglich um 8,30 Uhr gewogen und die Wasserverluste ergänzt. Es ist zu erwähnen, daß beim Haferversuch 1967 der Frischgewichtszuwachs nur grob geschätzt und dieses Gewicht alle 10 Tage zu dem Ausgangsgewicht des Gefäßes addiert wurde (WAGNER 1932, STOCKER 1956). Um das Pflanzengewicht bei der Wassergabe genauer berücksichtigen zu können, wurde aus dem Haferversuch 1967 eine Ertragszuwachskurve (Frischgewicht) angefertigt. Aus dieser Kurve kann der zehntägige Frischgewichtszuwachs der Pflanzen abgelesen werden. Beim Haferversuch 1968 wurden nach diesem Prinzip, unter Berücksichtigung der Zahl der Pflanzen, die zehntägigen Frischgewichtszunahmen bei der Wassergabe berücksichtigt (Abb. 22).

Die Begasung der Kästen 3, 4 und 5 dauerte täglich 8 Stunden (von 9 - 17 Uhr). Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit wurden von drei Thermohygrographen, die sich in den Kästen 1, 3 und bei der Kontrolle befanden, aufgezeichnet.

g Frischgewicht

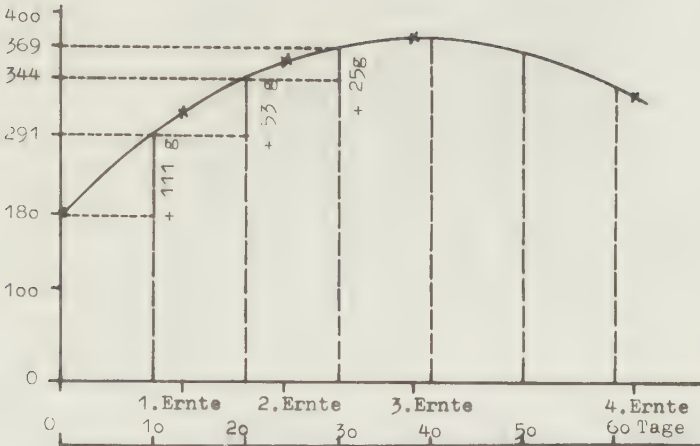


Abb. 22

Frischgewichtszuwachs bei Hafer 1967
(ober- und unterirdische Teile)

Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Verlauf der Vegetationsperiode

Das Wetter war, im Vergleich zu 1967, wesentlich kühler und feuchter. In der Halle betrug die Temperatur tagsüber (Wochendurchschnitt) 15 - 22°C und während der Nacht 5 - 10°C. Die Feuchtigkeit lag am Tag zwischen 45 und 50 %, nachts stieg sie auf etwa 70 - 75 % an. Die Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede zwischen den vier Kästen und der Halle betrugen am Tag 5 - 10°C und 10 - 20 %, nachts waren sie minimal (Abb. 23 und Tab.6 - Anhang).

Wachstumsverlauf und Entwicklung der Versuchspflanzen

Das Wachstum der Pflanzen verlief normal. Auch bei diesem Versuch war bereits eine Woche nach Versuchsbeginn zu sehen, daß die Pflanzen in den Kästen höher wuchsen als bei der Kontrolle (höhere Temperatur und Luftfeuchtigkeit). Die begasten Pflanzen zeigten ein besseres Wachstum als die nichtbegasten. Sie erbrachten stärkere und längere Halme (Abb. 24).

Zehn Tage nach Versuchsbeginn machten sich helle chlorophyllfreie Streifen an der Spitze und in der Mitte der Blätter der sich in den Kästen befindenden Pflanzen bemerkbar. Bei diesen Erscheinungen, die beim Haferversuch 1967 irrtümlich als Hitzeschäden gedeutet worden waren, sind jedoch Schäden, die durch irgendeine physiologische Störung verursacht wurden. Von einer Dörrefleckenkrankheit (LUNDEGÄRDH 1932, MENGEL 1968) kann man nicht mit Sicherheit sprechen, da die Analyse keinen Mn-Mangel zeigte. Bemerkenswert ist, daß diese Schäden nur auf den Blättern der Nachschosser auftraten.

Am 7.6. wurde die Bodenfeuchtigkeit bis auf 70 % der maximalen Wasserkapazität erhöht. Rispenstadien und Blühbeginn erfolgten bei den Versuchspflanzen am 9.6. und 14.6., drei Tage früher als bei den Kontrollpflanzen. Am 10.6. trat Pilzbefall (Echter Mehltau; Erysiphe graminis) an den unteren Blättern der Kontrollpflanzen und der Pflanzen im Kasten Nr. 1 (ohne CO₂-Zusatz) auf. Die begasten Pflanzen waren völlig gesund. Es scheint, daß die CO₂-Begasung einen günstigen Einfluß auf die Resistenz der Haferpflanzen gegen den Echten Mehltaubefall ausübt. Ob eine Resistenzerhöhung durch CO₂ tatsächlich erfolgt und ob dieselbe dann durch Verengung der Spaltöffnungen oder durch Erniedrigung des pH-Wertes auf der Blattoberfläche bedingt wird, ist noch offen.

Am 18.6. traten ähnliche Symptome an den Rispen der Versuchspflanzen auf (weiße und völlig verkümmerte Ährchen), die im vorigen Jahr als Hitzeschäden gedeutet worden waren. Diese Erscheinungen waren jedoch die Folge von Wassermangel, der zu Nährstoffmangel, möglicherweise Kupfermangel, führte (Weißährigkeit;

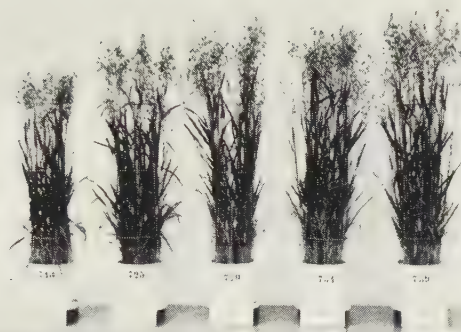


Abb. 24

Gef. Nr.	743	725	729	734	739
a)	Kontrolle	Luft	0,1%CO ₂	0,2%CO ₂	0,3%CO ₂
Haferpflanzen (26.6.1968)					



b)

Gef. Nr.	743	725	729	734	739
	Kontrolle	Luft	0,1%CO ₂	0,2%CO ₂	0,3%CO ₂
Haferpflanzen (29.7.1968)					

RADEMACHER 1931, BORISONIK 1957, MORDVINKINA 1959, MITROFANOV und MITROFANOVA 1967). Die Haferpflanzen benötigen in der Zeit vor dem Rispschieben und bis zur Blüte viel Wasser und Nährstoffe. Es scheint, daß die Versuchspflanzen, die sich in den Kästen kräftiger entwickelt hatten und eine größere Pflanzenmasse als die Kontrollpflanzen erbrachten, entsprechend größere Wasser- und Nährstoffmengen benötigten und bei der geringen Bodenfeuchtigkeit (60 % der max. Wasserkapazität) und der einmaligen täglichen Wassergabe, stark unter Wassermangel litten. Die Kontrollpflanzen dagegen waren viel weniger betroffen. Am 19.6. wurde deshalb die Bodenfeuchtigkeit auf 80 % der max. Wasserkapazität erhöht. Wie auch beim ersten Haferversuch, transpirierten die begasten Pflanzen weniger als die nichtbegasten, und zwar durch eine Verkleinerung der Spaltenweite einerseits und Beschleunigung des Reifeprozesses (durch Absterben der unteren Blätter) andererseits.

Vier Wochen nach Versuchsbeginn traten an den begasten Pflanzen Reifeerscheinungen auf, die mit der Höhe der CO_2 -Konzentration proportional verliefen.

Um die Verkleinerung der Spaltenweite durch hohe CO_2 -Konzentration festzustellen, wurde die Kollodium-Methode (WENZEL 1930, KLEIN 1944) angewandt. Die Abzüge wurden an sonnigen Tagen um 11 und 15 Uhr vorgenommen: Das Kollodium wurde mit einem Glasstäbchen in die Mitte der Blattunterseite der Pflanzen im Kasten 1 (normale Luft) und Kasten 4 (höchste CO_2 -Konzentration) aufgetragen. Nach einigen Sekunden wurde der Kollodiumfilm mit einer Pinzette abgezogen, befeuchtet, auf den Objektträger gelegt und unter dem Mikroskop untersucht. Die Kollodium-Abzüge wurden in verschiedenen Wachstumsstadien in der gleichen Weise wiederholt. Bei der mikroskopischen Untersuchung stellte sich heraus, daß allgemein deutliche Unterschiede zwischen den Spaltöffnungsweiten der mit CO_2 begasten und nichtbegasten Pflanzen bestanden. Die Spaltenweiten der begasten Pflanzen waren wesentlich kleiner als die der nichtbegasten. Zahlreiche Kollodium-Abzüge zu verschiedenen Zeitpunkten wurden ebenfalls auf Blättern von Mais- und Rapspflanzen, die eigens zu diesem Zweck kultiviert worden waren, vorgenommen (Abb. 25, 26, 27).

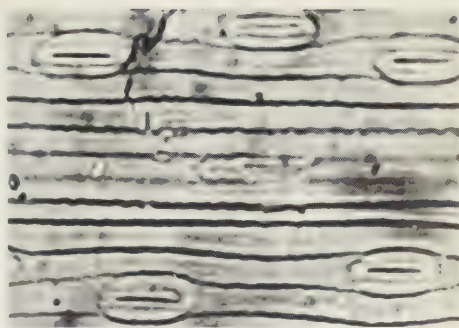
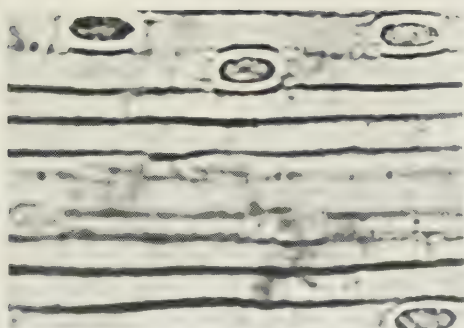


Abb. 25: Spaltöffnungen von Haferblättern
 a) ohne CO₂ (70 Tage) b) mit CO₂ 0,3% (70 Tage)

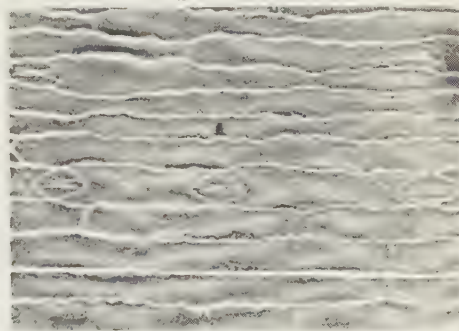
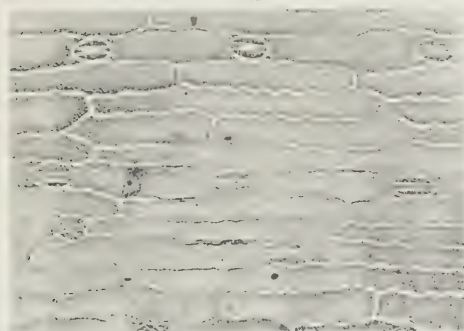


Abb. 26: Spaltöffnungen von Maisblättern
 a) ohne CO₂ (40 Tage) b) mit CO₂ 0,3% (40 Tage)

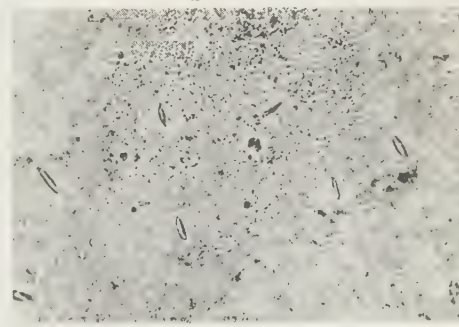
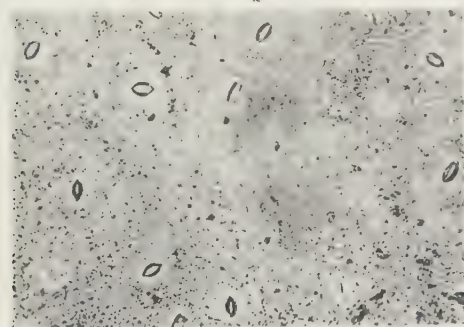


Abb. 27: Spaltöffnungen von Rapsblättern
 a) ohne CO₂ (40 Tage) b) mit CO₂ 0,3% (40 Tage)

Es ist jedoch zu erwähnen, daß im allgemeinen die Unterschiede der Spaltenweiten zwischen begasten und nichtbegasten Pflanzen nicht so deutlich sind. Die gewählten Abbildungen zeigen besonders auffallende Unterschiede.

Ernte

Die Ernte erfolgte am 30.7. und wurde genau wie im Jahre 1967 vorgenommen. Lediglich die Blätter wurden in drei Etagen unterteilt.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse (A.T.S.) des Haferversuches 1967 (letzte Ernte), Rapsversuches 1967 und Haferversuches 1968 erfolgte nach MUDRA (1958). Nach der t-Test-Berechnung wurde die Differenz einer Variante als "signifikant" ($t_{5\%} : x$), "hoch signifikant" ($t_{1\%} : xx$) oder "sehr hoch signifikant" ($t_{0,1\%} : xxx$) gegenüber allen anderen Varianten angenommen.

3. Ergebnisse

a) Haferversuch 1967

Trockensubstanzertrag

Bei der Betrachtung der Erträge der verschiedenen Pflanzenteile der fünf Varianten (Tab. 7 und 8 - Anhang) lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Aus den Ergebnissen der ersten Ernte (13 Tage nach Versuchsbeginn) ist zu ersehen, daß die Feuchtpflanzen als Folge der sehr hohen Luftfeuchtigkeit einen geringeren Ertragszuwachs erbrachten (86,6 % der Kontrolle). Dies wurde vermutlich durch Hemmung der Nährstoffaufnahme bzw. des Transportes sowie durch Auswaschungsverluste hervorgerufen. Die Trockenpflanzen wiesen ebenfalls einen etwas geringeren Ertragszuwachs auf (92,7 % der Kontrolle).

Die CO₂-Begasung wirkte sich nur geringfügig auf den Ertrag der Feuchtpflanzen, dagegen sehr günstig auf den der Trockenpflanzen aus. Die begasten Trockenpflanzen entwickelten sich am besten und erbrachten den höchsten Zuwachs an Gesamt- und Einzelerträgen (163,5 % der Kontrolle). Der Ertragsanstieg beruhte vor allem auf einem verstärkten Wachstum der Halme. Ebenso wie der Ertrag an oberirdischer Pflanzenmasse wurde auch der Wurzelertrag der Trockenpflanzen durch CO₂-Begasung stark erhöht (135,9 % der Kontrolle).

- Im Laufe der Vegetationszeit, nach der ersten und bis zur vierten Ernte, bestockten sich die Feuchtpflanzen wesentlich stärker als die Trocken- und Kontrollpflanzen, und die begasten Pflanzen stärker als die nichtbegasten. Die Trockensubstanzproduktion stieg bei den begasten Feuchtpflanzen stärker als bei den begasten Trockenpflanzen an, so daß jene diese bei der dritten Ernte im Ertrag annähernd erreicht hatten und bei der vierten Ernte übertrafen. Die begasten Feuchtpflanzen erbrachten also am Versuchsende die höchsten Erträge, was vor allem auf der erhöhten Anzahl von Nachschossern beruhte (Ertragszuwachs 135,1 % der Kontrolle).

Die Ursache für die unterschiedliche Entwicklung der Feucht- und Trockenpflanzen im Laufe der Wachstumsperiode lag zum Teil daran, daß die beiden Luftbefeuchter eine Woche nach Versuchsbeginn während der Nacht abgeschaltet waren, wodurch die ungünstige Wirkung der hohen Luftfeuchtigkeit beseitigt wurde. Für die Trockenpflanzen wurden dagegen die Wachstumsbedingungen im Laufe der Zeit ungünstiger, weil bei jeder Ernte jeweils 2 Gefäße aus dem Kasten entfernt wurden. Die Wasserabgabe der Pflanzen wurde dadurch insgesamt vermindert, so daß die Luftfeuchtigkeit in den letzten drei Wochen bis auf 37 % absank.

Auffallend war, daß der Ertrag an Rispen bei den Feuchtpflanzen im Verhältnis zum Gesamtertrag sehr niedrig war. Die Ursache hierfür lag hauptsächlich in der Bildung zahlreicher Taubrispen durch die hohe Luftfeuchtigkeit. Außerdem trat "Weißährigkeit" auf, die durch Wassermangel im Boden hervorgerufen wurde. So paradox es auch scheint, es ergab sich die Tatsache, daß die Feuchtpflanzen unter hoher Luftfeuchtigkeit litten, während ihre Wurzeln unter Wassermangel standen.

Besonderen Einfluß erlangte die CO_2 -Begasung auf die Kornausbildung der Trocken- und besonders der Feuchtpflanzen. Die begasteten Trockenpflanzen erreichten bei der letzten Ernte den Kornertrag der Kontrolle, während der Kornertrag der nichtbegasteten Trockenpflanzen weit darunter lag (ASANA 1961).

Ferner begünstigte die CO_2 -Begasung die Bestockung der Feucht- und Trockenpflanzen. Die Zahl ihrer Halme lag in beiden Fällen weit über der der nichtbegasteten Varianten und der Kontrolle. Auf das Wurzelsystem der Feucht- und Trockenpflanzen ließ sich der günstige Einfluß der CO_2 -Begasung ebenfalls deutlich erkennen.

Wasserverbrauch

Wie aus der Tabelle 9 und den Abbildungen 28 und 29 -Anhang- zu ersehen ist, transpirierten die Feuchtpflanzen bis zur 6. Woche nach Versuchsbeginn wesentlich weniger als die Kontrollpflanzen. Danach nahm die Transpiration der Kontrollpflanzen, durch

Reifebeginn, rapid ab, während die Feuchtpflanzen, die noch grün waren, bis zur 7. Woche weiter transpirierten und dann erst allmählich ihre Transpiration senkten, jedoch nicht völlig einstellten, da sie zum Zeitpunkt der letzten Ernte noch nicht reif waren.

Bei den Feuchtpflanzen war, während der ersten fünf Wochen, kein Einfluß der CO_2 -Begasung zu erkennen. Danach sank die Transpiration bei den begasten Feuchtpflanzen stärker ab. Der Grund für die Abnahme ist wahrscheinlich mehr in der Beschleunigung der Reife, als in der Verkleinerung der Spaltenweiten der Stomata zu suchen.

Durch die verhältnismäßig hohe relative Luftfeuchtigkeit, die während der ersten vier Wochen des Versuchs in den Trockenkästen herrschte, transpirierten die nichtbegasten Trockenpflanzen etwas stärker und die begasten etwas schwächer als die Kontrolle. Nach der vierten Woche nahm die Transpiration beider Trockenvarianten regelmäßig ab, während die Transpiration der Kontrolle erst ab der 6. Woche abfiel.

Im Gegensatz zu den Feuchtpflanzen kam der Einfluß der CO_2 -Begasung bei den Trockenpflanzen viel deutlicher zum Ausdruck. Der Transpirationsunterschied zwischen den begasten und nichtbegasten Pflanzen war bis zur 4. Woche gering. Danach (Beginn der Reife) nahm er jedoch bis zur letzten Ernte ständig zu. Auch hier war der Einfluß der Reife auf die Transpirationssenkung offenbar am größten.

Transpirationsquotienten

Zum Zeitpunkt der ersten Ernte lagen die Transpirationsquotienten (Tab. 8 - Anhang) der nichtbegasten Feuchtpflanzen wesentlich unter der der Kontrolle (37,0 %). Die Werte der nichtbegasten Trockenpflanzen dagegen wichen nur gering von der Kontrolle ab.

Die CO_2 -Begasung hatte bis zur ersten Ernte auf die Feuchtpflanzen kaum einen Einfluß, dagegen war bei den Trockenpflanzen eine Wirkung festzustellen (55,0 %).

Nach der ersten Ernte und bis zum Versuchsende stiegen die Transpirationsquotienten bei allen nichtbegasten Pflanzen regelmäßig an, während die begasten Pflanzen ihren Transpirationsquotienten weiterhin niedrig hielten.

Die begasten Feuchtpflanzen erreichten bei der letzten Ernte insgesamt den niedrigsten TQ (44,3 % von der Kontrolle).

Wenn man bei der letzten Ernte den Wasserverbrauch nur auf den Kornertrag bezieht, so wird die Erhöhung des TQ durch den ungünstigen Einfluß der hohen Luftfeuchtigkeit auf die Kornausbildung deutlich (die TQ verdoppelten sich bei den Feuchtpflanzen).

Nährstoffgehalte

Aus den Tabellen 10 - 14 -Anhang- ist zu ersehen:

1. Der Gehalt an N, P und K in der gesamten Pflanze nahm bei allen Varianten mit dem Alter der Pflanzen regelmäßig ab. Dies stimmt mit den Ergebnissen zahlreicher Arbeiten überein (LUNDEGARDH 1932, LOEHWING 1942, SCHARRER 1950, BAUMEISTER 1952, SAXENA 1962, MENGEL 1968). Diese Arbeiten lassen erkennen, daß im allgemeinen Mineralstoff- und N-Gehalt mit fortschreitender Entwicklung der Pflanzen absinken, obwohl die absolut aufgenommene Menge ansteigt. Dies ergibt sich aus der Diskrepanz zwischen Mineralstoffaufnahme und Trockenmasseproduktion im Verlaufe der Vegetation, so daß ein "Verdünnungseffekt" entsteht. LINSER, KÜHN und KLINGST (1962) bezeichnen diesen Effekt als "Systemverdünnung", wenn der Gehalt an "System" im Laufe der Entwicklung vermindert bzw. durch "Produkt" verdünnt wird.

Die Verminderung der Gehalte im Laufe der Entwicklung ist allerdings nicht allein auf die Zunahme der organischen Substanz zurückzuführen, sondern auch auf die Umlagerung der im Jugendstadium in den Blättern und Stengeln angereicherten Mineralstoffmengen in die generativen Organe. BURR et al. (1958) schließen hieraus, daß z.B. N an die Stellen des physiologischen Bedarfes, nicht aber zu den Stellen mit niederem N-Gehalt wandert.

Auch MICHAEL und Mitarbeiter (1960) fanden, daß bei Getreide zur Zeit der Kornbildung der mit ^{15}N -markierte N meist direkt bis in das Korn transportiert wird und nur geringfügig im Halm oder in den Blättern verbleibt. LINCK und SWANSON (1960) konnten feststellen, daß die Verteilung des P in der Pflanze ebenfalls weitgehend von dem physiologischen Entwicklungsstand abhängt. Eine Rückwanderung der Nährstoffe (N, P und K) am Ende der Wachstumszeit aus den Blättern und besonders aus den Stengeln in die Wurzel, kann hier ebenfalls zu einer Verarmung der oberirdischen Pflanzenteile beitragen (BUKOVAK und WITTWER 1957, MICHAEL und MARSCHNER 1958, SCHARREER und MENGEL 1960).

Der Ca- und Mg-Gehalt nahm in den oberen (jüngeren) Blättern im Laufe der Vegetation und bis zur Reife deutlich und regelmäßig zu; in den übrigen Pflanzenteilen war die Zunahme nur gering. Die Eigenart des Kalziums und Magnesiums, fast ausschließlich in akropeatler Richtung in den Pflanzen zu wandern und nicht in andere Pflanzenteile umgelagert zu werden (BUKOVAC und WITTWER 1957) kam hier deutlich zum Ausdruck. Dadurch erklärt sich die starke Anhäufung von Ca in den jüngeren Blättern mit fortschreitender Entwicklung der Pflanzen (RIRIE und ROTH 1952).

2. Der Gehalt der Blätter aller Varianten an N während der verschiedenen Entwicklungsstadien nahm mit der Insertionshöhe zu. Das bedeutet, die oberen Blätter wiesen einen wesentlich höheren Gehalt auf als die unteren. Bei P war der Gehaltsunterschied nur geringfügig und bei K kaum zu erkennen. Die oberen Blätter waren sogar, wider Erwarten, etwas ärmer an K als die unteren. Unter normalen Bedingungen ist der K-Gehalt der jüngeren Blätter höher als der der älteren (MENGEL 1968). Bei Ca und Mg war das Verhältnis umgekehrt (die oberen Blätter waren ärmer als die unteren). Die oberen Internodien waren reicher an N, P, Ca und Mg als die unteren; bei K war es bis zur dritten Ernte umgekehrt. Vermutlich handelt es sich um eine Umlagerung des K in die anderen Pflanzenorgane oder eine Auswanderung in die Wurzel.

Die Ursache für diese Gehaltsunterschiede zwischen den verschiedenen Teilen einer Pflanze liegt anscheinend in der Beweglichkeit der einzelnen Nährstoffe in der Pflanze, die bei N, P, K und Mg größer sind und eine Weiterverteilung innerhalb der Pflanze (vorwiegend aus den älteren in die jüngeren Blätter) erlaubt, während bei anderen Elementen, wie bei Ca und B eine Remobilisierung schwerer oder gar nicht möglich ist (Lit. bei FISCHER 1958). Somit sind auch die Gehaltsunterschiede in den Blättern und Internodien auf die sehr gute Beweglichkeit des K zurückzuführen. Es ist auch zu bemerken, daß bei der vierten Ernte der N-Gehalt der oberen Blätter sehr niedrig war, was vermuten läßt, daß mit fortschreitender Kornausbildung die Rispen einen Teil ihres hohen N-Bedarf aus den oberen Blättern deckten, so daß sie eine geringe Abnahme während der Wachstumszeit zeigten (WAGNER 1932). Bei P war diese Feststellung bei den Trockenpflanzen schon bei der dritten Ernte zu machen. Die Trockenheit förderte die Verlagerung von P aus den oberen Blättern in die Rispen.

3. Die Gehaltsunterschiede zwischen den jeweiligen Pflanzen der verschiedenen Varianten waren, je nach Behandlungsart (Feucht, Trocken, CO₂-Begasung), in erster Linie auf die Ertragsunterschiede zurückzuführen, so daß die niedrigen Erträge mit höherem Nährstoffgehalt (Konzentrationseffekt) und die höheren Erträge mit niedrigem Nährstoffgehalt (Verdünnungseffekt) verbunden waren. Somit läßt sich die starke Gehaltsabnahme (Gesamt und Einzel) an allen Nährstoffen, insbesondere an N und P, der begasten Pflanzen erklären.

Die Trockenpflanzen zeigten eine deutliche Gehaltszunahme, was mit der Feststellung von WAGNER (1932) übereinstimmt, daß Trockenverhältnisse einen höheren Gehalt an allen Mineralstoffen bedingen. Dies ist verständlich, da einerseits eine konzentrierte Bodenlösung eine starke Aufnahme bewirkt (SAXENA 1965, MENGEL 1968), und andererseits eine verringerte Hydratur die Trockensubstanzbildung früher als die Nährstoffaufnahme hemmt, so daß daraus eine höhere Konzentration in der Pflanze resultiert.

Nährstoffaufnahme

Da die Unterschiede in der Trockensubstanzproduktion zwischen den verschiedenen Varianten sehr groß waren, was einen direkten Vergleich der jeweils aufgenommenen Mineralstoffe (mg/Pflanze) erschwerte, wurde in erster Linie der Gehalt (mg/g L.T.S.) betrachtet, um eine Beurteilung der Aufnahme geben zu können. Aus den Tabellen 10 - 19 -Anhang- geht hervor, daß im Vergleich zur Kontrolle, die hohe Luftfeuchtigkeit (eingeschränkte Transpiration) die Gehalte an N, P und zum Teil K in der Gesamtpflanze erhöhte. Der Gehalt der Blätter, Halme und Nachschosser war ebenso erhöht.

Die Aufnahme, bedingt durch die Ertragshöhe, war bei der gesamten Pflanze dagegen nicht erhöht (bei P), sondern zum Teil vermindert (bei N und K). Der Grund hierfür liegt hauptsächlich in den niedrigen Kornerträgen der Feuchtpflanzen (Taubrispenbildung, Weißährigkeit). Da die Körner einen hohen Gehalt an N, P und K im Vergleich zu den anderen Pflanzenteilen besitzen, erklärt sich auch die Nichterhöhung der P- und die Verminderung der N- und K-Aufnahme in der gesamten Pflanze, sowie der starke Abfall der N- und P-Aufnahme der Rispen. Die verminderte Aufnahme war also mehr auf einen Mangel an N, P und K, als auf eine Hemmung der Transpiration, zurückzuführen. N, P und K sind für den gesamten Stoffwechsel und damit das gesamte Wachstum von bestimmender Bedeutung (MENDEL 1962).

Bemerkenswert war, daß die oberen Blätter, sowie die oberen Internodien und die Spreu, im Vergleich zur Kontrolle, sehr arm an K waren. Auch hier handelt es sich mehr um einen K-Mangel, als um eine, durch eingeschränkte Transpiration, verminderte Aufnahme.

Auf den Ca- und Mg-Gehalt der gesamten Pflanze hatte die hohe Luftfeuchtigkeit keinen deutlichen Einfluß. Sie erhöhte den Gehalt der Rispen und Halme, verminderte aber deutlich den der Spreu, der oberen Blätter und der Nachschosser.

Die Aufnahme der Gesamtpflanze, sowie der Rispen und Blätter, war erniedrigt, die der Halme dagegen erhöht. Auch hier wurde, wie bei N, P und K, die Aufnahme von der Ertragshöhe stark beeinflusst.

Die niedrige Luftfeuchtigkeit bzw. hohe Transpiration erhöhte die Gehalte aller Nährstoffe der gesamten Pflanze, sowie der einzelnen Pflanzenteile. Es ist jedoch zu bemerken, daß die untersten Internodien der Trockenpflanzen bei der dritten und vierten Ernte niedrige K-Gehalte aufwiesen. Es erfolgte, unter Einfluß der Trockenheit, eine Umlagerung des Kaliums in die Blätter (WAGNER 1932). Die Rückwanderung des Kaliums in die Wurzel ist auch hier nicht auszuschließen.

Die Aufnahme an N und P der gesamten Pflanze, sowie der einzelnen Pflanzenteile, war nicht deutlich beeinflusst; die K-Aufnahme etwas vermindert. Bei den Halmen war jedoch die Aufnahme durch die höheren Erträge gesteigert. Bei Ca und Mg erhöhte die niedrige Luftfeuchtigkeit die Gehalte der Gesamtpflanze sowie der einzelnen Pflanzenteile. Die Aufnahme der gesamten Pflanze war bei Ca leicht erhöht, bei Mg sehr gering.

Wie schon erwähnt, waren die Gehalte an allen Nährstoffen der begasten Pflanzen niedriger als die der Kontrolle. Die Aufnahme war dagegen nicht deutlich erniedrigt, sondern teilweise, durch die Ertragssteigerung, sogar erhöht.

Nährstoffverteilung

Bei der Betrachtung der Gehaltstabellen machte sich der Einfluß unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit bzw. Transpiration auf die Verteilung der Mineralstoffe innerhalb der Pflanze deutlicher bemerkbar, als dies bei der Aufnahme der Fall war.

Die Verteilung an N und P wurde nicht beeinflusst. Die Verarmung der oberen Blätter und der Spreu der Feuchtpflanzen an K kann durch Mangel verursacht worden sein. Die Luftfeuchtigkeit wirkte sich jedoch deutlich auf die Verteilung von Ca und Mg aus. Die oberen Blätter und Internodien der Feuchtpflanzen waren ärmer (durch Hemmung der Transpiration), die der Trockenpflanzen reicher (durch verstärkte Transpiration) an Ca und Mg als die der Kontrolle. Die Rispen zeigten dagegen keine Unterschiede in der Verteilung von Ca und Mg, obwohl die Spreu der Feuchtpflanzen einen sehr niedrigen, die der Trockenpflanzen aber einen

höheren Gehalt als die der Kontrolle hatte. Dies zeigt deutlich, daß der Transport und die Verteilung von Ca und Mg von der Transpirationsintensität abhängig sind.

b) Rapsversuch 1967

Trockensubstanzproduktion

Aus den Tabellen 20, 21 und Abbildung 30 -Anhang- ist zu ersehen, daß der Ertrag (Gesamtpflanze und Pflanzenteile) durch die hohe Luftfeuchtigkeit kaum beeinflusst war. Die niedrige Luftfeuchtigkeit verursachte eine leichte Ertragsdepression. Der Wurzelertrag war sowohl bei den Feucht- als auch bei den Trockenpflanzen erniedrigt.

Die CO₂-Begasung begünstigte das Wachstum (Blatt und Stengel) der Feucht- und Trockenpflanzen, wobei die Feuchtvariante etwas höhere Erträge als die Trockenvariante aufwies. Das Wurzelwachstum der Feucht- und Trockenpflanzen wurde durch die CO₂-Begasung noch stärker gefördert.

Wasserverbrauch

Wie beim Haferversuch, transpirierten auch hier die Feuchtpflanzen viel weniger, die Trockenpflanzen dagegen mehr als die Kontrolle (Tab. 22 und Abb. 31 -Anhang-)

Die CO₂-Begasung hatte bis zur vierten Woche kaum eine Wirkung auf den Wasserverbrauch beider Varianten. Danach transpirierten die begasten Pflanzen, bedingt durch die Reife, wesentlich weniger als die nichtbegasten. Der Einfluß des hohen CO₂-Gehaltes auf den Wasserverbrauch der Rapspflanzen ließ sich, im Gegensatz zum Hafer, nicht deutlich erkennen, da neben der kurzen Versuchsdauer (28 Tage), das Wetter kühl und wenig sonnig war (Sept./Okt.).

Transpirationsquotienten

Die Transpirationsquotienten der Feuchtpflanzen waren wesentlich niedriger (42 %) als die der Kontrolle; die der Trockenpflanzen lagen höher (136 %).

Die CO₂-Begasung senkte die Transpirationsquotienten der beiden Varianten (Feucht und Trocken).

Nährstoffgehalte

Die Gehalte der Rapspflanzen wiesen im allgemeinen keine bedeutenden Abweichungen von den Gehalten der Haferpflanzen (Tab. 23 -Anhang-). Zusammenfassend kann man herausstellen:

1. Eine starke Zunahme an N- und P-Gehalt erfolgt mit der Insertionshöhe der Blätter. Das bedeutet, daß die oberen Blätter reicher an N und P sind als die unteren.
2. Es besteht eine starke Abnahme an K und Ca mit der Insertionshöhe der Blätter.
3. Kein deutlicher Gehaltsunterschied zwischen den oberen und unteren Blättern an Mg ist vorhanden.
4. Die oberen Stengelhälften sind reicher an allen Nährstoffen als die unteren.

Wie schon beim Haferversuch erwähnt wurde, handelt es sich auch hier in erster Linie um einen Beweglichkeitsunterschied zwischen den verschiedenen Nährstoffen innerhalb der Pflanze. Hinsichtlich der Beweglichkeit scheint das Mg-Ion eine Mittelstellung zwischen den schwer- und leichtbeweglichen Ionen einzunehmen. Auch hier wiesen die begasten Pflanzen im Vergleich zu den nicht-begasten und den Kontrollpflanzen einen niedrigeren Gehalt an allen Nährstoffen auf.

Nährstoffaufnahme

Aus den Gehalts- und Aufnahmetabellen (23 und 24 -Anhang-) geht hervor, daß die hohe ebenso wie die niedrige Luftfeuchtigkeit den Gehalt und die Aufnahme der gesamten Pflanze (Blätter und Stengel) an N, P und K im Vergleich zur Kontrolle leicht erhöhten. Bei Ca und Mg verminderte sowohl die hohe als auch die niedrige Luftfeuchtigkeit den Gehalt und die Aufnahme der Gesamtpflanze sowie der Blätter und Stengel geringfügig.

Die CO₂-Begasung wirkte sich auch hier mindernd auf den Gehalt und die Aufnahme an N, K, Ca und Mg aus. Auf P hatte sie dagegen keinen nennenswerten Einfluß.

Nährstoffverteilung

Die hohe Luftfeuchtigkeit beeinflusste nicht die Verteilung von N, P und K. Sie wirkte sich auf die Verteilung von Ca deutlich, von Mg geringfügig, aus. Im Vergleich zu den Trockenpflanzen und der Kontrolle waren die oberen Blätter der Feuchtpflanzen mehr oder weniger arm an Ca und Mg.

c) Haferversuch 1968

Trockensubstanzproduktion

Aus den Tabellen 25 und 26 und Abb. 32 -Anhang- ist zu ersehen, daß die Trockensubstanzerträge der Kontroll- und der nichtbegasteten Pflanzen etwa gleich hoch waren, obwohl das Wachstum und die Zahl der Halme (41) der letzteren wesentlich die der Kontrollpflanzen (30) übertrafen. Die leichte Temperatur- und Feuchtigkeitserhöhung im Kasten 1 (0,03 % CO₂) erhöhte die Zahl der Halme und kompensierte damit die durch verminderte Photosynthese bedingte Ertragsdepression.

Die CO₂-Pegasung (0,1; 0,2; 0,3 Vol.-% Konzentration) erhöhte eindeutig den Ertrag sowie die Zahl der Halme, so daß der Gesamtertrag und die Erträge der verschiedenen Pflanzenteile sich wesentlich von dem der Kontrolle und der nichtbegasteten Pflanzen abhoben. Dabei war bemerkenswert, daß die Einzelerträge, insbesondere der Kornerntrag, parallel mit dem Gesamtertrag anstiegen.

Die CO₂-Konzentration von 0,3 % übte den günstigsten Einfluß auf den Gesamtertrag sowie auf die Einzelerträge (Rispen, Blätter, Halme) aus. Der Ertragszuwachs während des Versuchs betrug hier 152,2 % von der Kontrolle. Wider Erwarten erzielten die Pflanzen der Variante III (0,1 % CO₂) einen etwas höheren Ertrag als die der Variante IV (0,2 % CO₂). Ihre Wuchshöhe sowie ihr Kornerntrag (durch die Zahl der Halme) lagen höher. Die Ursache hierfür ist wahrscheinlich in einer unterschiedlichen Beeinflussung der Witterungsfaktoren (Temperatur, Belichtung), die durch die Stellung der Kästen bedingt sein könnte, zu suchen.

Wie es beim Hafer- und Rapsversuch 1967 der Fall war, übte die CO₂-Begasung auch hier eine sehr günstige Wirkung auf den Wurzeleertrag aus (153,5 % bei 0,3 % CO₂-Begasung). Wie auch bei den oberirdischen Pflanzenteilen, blieb der Wurzeleertrag der Variante IV hinter dem der Variante III zurück.

Wasserverbrauch

Wie aus der Tabelle 27 und Abbildung 33 -Anhang- zu ersehen ist, transpirierten die Pflanzen in den Kästen deutlich weniger als die Kontrolle. Das war hauptsächlich auf die höhere Luftfeuchtigkeit in den Kästen zurückzuführen. Da der Unterschied im Wasserverbrauch zwischen der Kontrolle und den nichtbegasteten Pflanzen ziemlich hoch war, wurden diese (Variante II) als Kontrolle angenommen.

Wenn man den Wasserverbrauch der begasteten mit dem der nicht begasteten Pflanzen vergleicht, so zeigt sich, wie auch beim Hafer- und Rapsversuch 1967, daß die Verminderung der Transpiration eher auf Reifebeschleunigung, als auf Stomataverschluß zurückzuführen ist. Bis zur vierten Woche war der Unterschied im Wasserverbrauch zwischen der Variante II (als Kontrolle angenommen) und den begasteten Varianten sehr gering. Zu diesem Zeitpunkt begann bei den begasteten Pflanzen die Reife und damit sank der Wasserverbrauch ab. Der Unterschied im Wasserverbrauch zwischen begasteten und nichtbegasteten Varianten vergrößerte sich bis zur 7. Woche stetig. Danach sank bei allen Varianten der Wasserverbrauch gleich stark ab.

Transpirationsquotienten

Wenn man, wie schon beim Wasserverbrauch, die Variante II als Kontrolle zu Grunde legt, so zeigt sich, daß der Transpirationsquotient mit steigender CO₂-Konzentration abnimmt: Somit erreichte die höchste Konzentration (0,3 % CO₂) den niedrigsten TQ (57,6 % von der Kontrolle -Variante II- und 48,6 % der sich im Freien befindenden Pflanzen).

Der nur auf den Kornertrag bezogene Transpirationsquotient der

verschiedenen Varianten zeigte einen ähnlichen Verlauf wie der TQ der gesamten Pflanze. Wie schon erwähnt, korrelierte der Kornertrag eng mit dem Gesamtertrag.

Die leichte Erhöhung des TQ-Korn bei Variante IV (0,2 % CO₂) im Vergleich zu Variante III (0,1 % CO₂) lag an der schwachen Depression an Kornertrag dieser Variante.

IV. Diskussion

Trockensubstanzproduktion

Durch die kontinuierliche Belüftung konnten die Feuchtpflanzen gesund gehalten werden, das heißt es trat kein Pilzbefall auf, wie man es häufig bei Pflanzen, die in feuchter Atmosphäre ohne Luftbewegung aufwachsen, feststellen kann.

Wider Erwarten beeinflusste die hohe Luftfeuchtigkeit kaum den Gesamtertrag der Hafer- und Rapspflanzen, obwohl das Längenwachstum und die Bestockung (bei Hafer) stark gefördert wurden. Der Strohertrag stieg also an, während der Kornertrag abfiel. Bei Hafer war das hauptsächlich auf den niedrigen Rispenenertrag zurückzuführen. Bei Raps lag die Ursache in einer verminderten Assimilation, die durch kurze Versuchsdauer und schlechtes Wetter (wenig Sonne) bedingt war. Die starke Ertragsdepression bei Haferkörnern wurde durch die in den Kästen herrschende sehr hohe Luftfeuchtigkeit sowie durch den Wassermangel im Boden während des Zeitabschnittes Rispenstehen - Blüte verursacht. Diese zwei ungünstigen physiologischen Effekte minderten den Kornertrag erheblich. Die Haferpflanzen, die auf Wassermangel sehr empfindlich reagieren, standen in der Zeit des höchsten Wasserbedarfs in relativ trockenem Boden (60 - 70 % Wasserkapazität bei täglich einer einzigen Wassergabe). Dadurch erfolgte eine Störung der Nährstoffaufnahme bzw. des Transportes in die generativen Organe (Rispen). Die Rispen litten also unter Nährstoffmangel, wodurch Weißährigkeit auftrat (u.a. RADEMACHER 1932). Gleichzeitig führte die hohe Luftfeuchtigkeit (gesättigte Atmosphäre) offenbar zu erheblichen Auswaschungsverlusten an Blättern und Rispen und behinderte die Pollenkeimung sehr stark, wodurch die meisten Rispen taub blieben (LINSKENS 1967).

Durch geringe Luftfeuchtigkeit (hohe Transpiration) wurde bei Hafer und Raps der Gesamtertrag vermindert. Die Ertragsabnahme war bei Hafer hauptsächlich durch ein starkes Absinken des Kornertrages bedingt. Im allgemeinen führen Trockenbedingungen zu

einer Verminderung der Substanzproduktion und einer Minderung der Anzahl und Größe der Körner (ASANA 1961). Außerdem kann die geringere Lichtintensität in den Kästen, bzw. die verminderte Photosynthese, an dieser Ertragsabnahme beteiligt gewesen sein.

Auf den Wurzelertrag wirkte sich sowohl die hohe als auch die niedrige Luftfeuchtigkeit bei Hafer (bis zur 3. Ernte) und bei Raps, im Vergleich zur Kontrolle, mindernd aus. Auch hier dürfte eine verminderte Lichtintensität in den Kästen und damit eine verminderte Photosynthese das Wurzelwachstum dieser Pflanzen beeinträchtigt haben. Bei der vierten Ernte der Haferpflanzen wiesen die Wurzeln der beiden Varianten (Feucht und Trocken) einen starken Ertragsanstieg auf. Die große Zahl von Nachschossern dieser beiden Varianten (Feucht und Trocken) sind in erster Linie für den Ertragsanstieg verantwortlich. Daraus geht hervor, daß sowohl eine starke Transpiration zu einer Verminderung der Erträge führt, als auch eine Hemmung dieser Transpiration negative Auswirkungen auf den Ertrag hervorrufen kann. Deshalb wird man bestrebt sein müssen, die Transpiration zwar zu vermindern, jedoch nur bis auf einen Wert, der für den optimalen Verlauf der Lebensprozesse notwendig ist und damit die Ertragsleistung nicht einschränkt. Daher darf die Transpiration keinesfalls total gehemmt werden. Sie stellt offenbar das motorische Element der Wasser- und Nährstoffbewegungen in der Pflanze und im Boden dar. Diese Feststellung ist nicht neu, denn schon TSCHAPLOWITZ (1882, 1883, 1886) erwähnte, daß nach seinen Untersuchungen eine gesteigerte Transpiration vielfach nachteilig auf das Produktionsvermögen der Pflanzen einwirkt, besonders bei geringem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens; dagegen beeinträchtigt aber eine zu stark gehemmte Transpiration die Assimilation der Pflanzen. Infolgedessen besteht für jede Pflanze ein "Transpirations-Optimum". Aufgrund dieser Gesetzmäßigkeit erklären sich auch die Unterschiede in den Ergebnissen der Versuche, die den Einfluß hoher Luftfeuchtigkeit auf den Pflanzenertrag zum Thema hatten. Die jeweiligen Transpirationsoptima der verschiedenen Pflanzenarten liegen unterschiedlich hoch, so daß ein Transpirationsoptimum einer bestimmten Pflanzenart nicht dem einer anderen Pflan-

zenart entspricht. Die Transpiration scheint also, wie ROELLIN (1960) und WALTER (1960) erwähnten, in einem charakteristischem Ausmaß, ein "notwendiges Übel" zu sein.

Die Begasung mit CO_2 wirkte sich sowohl auf den oberirdischen Pflanzenertrag, als auch auf den Wurzelertrag der Versuchspflanzen (Hafer 1967, Raps 1967, Hafer 1968) sehr günstig aus. Diese Auswirkung war jedoch bei Raps kleiner als bei Hafer (1967 und 1968), da der Rapsversuch nur vier Wochen dauerte und durch die kühle und wenig sonnige Witterung (Sept./Okt.) die Photosyntheseleistung vermindert war.

Bemerkenswert ist die Feststellung, daß die CO_2 -Düngung das Dicken- und Längenwachstum der Stengel und vor allem den Kornertrag stark begünstigte. Das liegt hauptsächlich an der günstigen Luftumwälzung und der gleichmäßigen Verteilung des CO_2 , wodurch neue Luftschichten mit hohem CO_2 -Gehalt an das Blatt herangeführt wurden. Es erfolgte eine erhöhte CO_2 -Diffusion bzw. -Aufnahme und damit eine Steigerung der Assimilationsleistung (LUNDEGÅRDH 1921, DENECKE 1931, MITSCHERLICH 1933). Die günstige Wirkung auf den Ertrag wurde anscheinend durch höhere Temperaturen gefördert (BRETSCHNEIDER-HERRMANN 1962/63).

Weiterhin bewirkte die CO_2 -Begasung durch Reifebeschleunigung, eine beachtliche Verkürzung der Vegetationszeit. Außerdem wirkte sie hemmend auf den Befall mit Echten Mehltäupilzen. Um festzustellen, ob die Befunde über die Wirkung der Kohlensäure auf die Echten Mehltäupilze reproduziert werden können und ob sie gegebenenfalls durch Ansäuerung der Atmosphäre der Blattoberfläche der Pflanzen bedingt war, wären weitere Versuche erforderlich.

Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch der Feuchtpflanzen konnte aufgrund großer Schwankungen der Luftfeuchtigkeit, die tagsüber in den Feuchtkästen auftraten, nicht genügend erniedrigt werden. An sonnigen Stunden sank die Luftfeuchtigkeit bis auf 60 - 70 % und führte zu einer Erhöhung der Transpiration.

Die CO₂-Begasung verminderte eindeutig den Wasserverbrauch. Diese Senkung ist jedoch mehr auf Beschleunigung des Reifeprozesses (Absterben der unteren Blätter), als auf Verengung der Stomata zurückzuführen. Die hohe CO₂-Konzentration verursachte zwar den Verschuß der Stomata, wie durch mikroskopische Untersuchungen bestätigt wurde; die Wirkung des Stomataverschlusses auf die Transpiration machte sich jedoch nicht eindeutig bemerkbar. Dies läßt sich erklären, einerseits durch die relativ große Pflanzenmasse bzw. Wasserverbrauch und andererseits durch die starke Abhängigkeit der Stomatabewegungen von vielen Faktoren, die sich gegenseitig beeinflussen, so daß die einzelnen Spaltöffnungen eines Blattes verhältnismäßig rasch und unterschiedlich reagieren (SIERP 1933, LUNDEGÅRDH 1960).

Die Stomata reagieren also auf die Steigerung der CO₂-Konzentration im Zusammenhang mit der Lichtintensität (MITSCHERLICH 1932, WALTER 1960) in der Weise, daß bei voller Lichtintensität die Schließzellen auf jede Erhöhung des CO₂-Gehaltes über den normalen Luftgehalt (0,03 %) durch entsprechendes Schließen ihrer Stomata reagieren. Bei niedrigen Lichtintensitäten, die unter dem max. Tageslicht liegen, reagieren ebenfalls die Schließzellen und verkleinern ihre Spaltenweite, jedoch nur bis zu einem Grad, bei dem sie noch die für den Ablauf der möglichen Photosyntheseleistung erforderliche CO₂-Menge aufzunehmen vermögen. Untersuchungen von RASCHKE (1965) deuten darauf hin, daß die Stomata bestrebt sind, den ins Blatt fließenden CO₂-Strom konstant zu halten, sofern alle anderen Bedingungen, besonders die der Bestrahlung, ebenfalls konstant bleiben.

Die Möglichkeit einer Verminderung der Transpiration, durch Erhöhung der CO₂-Konzentration, dürfte jedoch für die Praxis von besonderer Bedeutung sein. Durch die erhöhte CO₂-Konzentration kann nämlich, trotz Verengung der Stomata, die Assimulationsleistung optimal gehalten werden, so daß letzten Endes beide Komponenten des Transpirationsquotienten günstig beeinflußt werden.

Transpirationsquotienten

Der Transpirationsquotient wurde durch die hohe Luftfeuchtigkeit

stark erniedrigt (bei Hafer -letzte Ernte- bis auf 210 gegenüber 309 in der Kontrolle; bei Raps bis auf 44 gegenüber 105 in der Kontrolle).

Die CO₂-Begasung senkte ebenfalls den TQ, so daß die begasten Feuchtpflanzen bei Hafer einen TQ von 137 und bei Raps von 37 erreichten. Beim Haferversuch 1968 hatten die begasten Pflanzen (0,3 % CO₂) einen TQ von 151 gegenüber einem TQ von 262 bei den nichtbegasten Pflanzen. Diese TQ-Erniedrigung erreichte jedoch nicht den bei der Zielsetzung dieses Versuches angestrebten Wert.

Wie aus den vorliegenden Ergebnissen zu ersehen ist, wichen die Umweltbedingungen in den Feucht- und Trockenkästen etwas von der Zielsetzung des Versuches ab. Die Luftfeuchtigkeit in den Feuchtkästen schwankte tagsüber in kurzen Intervallen sehr stark (60 - 100 %). Nachts betrug sie etwa 100 %. Diese zeitweise stark erhöhte Luftfeuchtigkeit wirkte sich ungünstig auf den Kornsertrag aus.

In den Trockenkästen dagegen war es nicht gelungen, die Luftfeuchtigkeit bis auf den angestrebten Wert (etwa 20 - 30 %) zu senken, da die Pflanzenmasse (8 Gefäße), die im Vergleich zum Volumen des Kastens sehr groß war, eine erhebliche Wassermenge abgab und damit die Luftfeuchtigkeit erhöhte. Weiterhin war tagsüber die Temperatur in den Kästen, im Vergleich zur Außenluft, viel höher. Die Lichtintensität in den Kästen war durch gegenseitige Beschattung und Absorption der Folie vermindert (die Lichtabsorption der Folie, die zu Beginn des Haferversuches 1967 minimal war, betrug am 9.7.68 3000 Lux).

Nach unserer Meinung hätten die Feuchtpflanzen einen viel höheren Kornsertrag und einen wesentlich niedrigeren TQ erzielt, wenn die Möglichkeit bestanden hätte, die Luftfeuchtigkeit Tag und Nacht in einem geringen Schwankungsbereich, auf einer Höhe von 80 - 90 % zu halten. Dadurch wäre die Guttation, die etwa bei 96 % rel. Luftfeuchtigkeit (STEUBING 1968) eintritt, vermieden worden.

Die Weißährigkeit wäre ebenfalls nicht aufgetreten, wenn die Wasserkapazität frühzeitig auf den Bedarf der Pflanzen erhöht und

eine häufigere Wassergabe (2 - 3 mal/Tag) erfolgt wäre. An heißen Tagen (Juni/Juli) wurden, selbst bei dreimaliger Wasserzufuhr, Verluste von 600 g von einem zum anderen Male festgestellt, was einer Verminderung der Bodenfeuchte z.B. von 100 % auf 60 % der max. Wasserkapazität entspricht (RIETZEL 1959).

Das Gießverfahren mit der Plastikflasche zeigte sich als erfolgreich hinsichtlich besserer Wasserverteilung im Boden und starker Einschränkung der Wasserverluste (Evaporation und Durchlaufen). Dieses Verfahren ist deshalb für feinerdehaltige Böden besonders geeignet. Der Nachteil dieser Methode lag im großen Volumen der Flasche (0,7 l) im Verhältnis zum Gefäßvolumen. Daher wäre es zweckmäßig dieses Verfahren weiter zu entwickeln, jedoch mit einem umgestülpten Trichter von 0,8 l Inhalt und schmalen Hals, um genauere Ergebnisse bei Wasserhaushaltsversuchen zu erzielen.

Es wäre außerdem zu empfehlen, für jede Pflanzenart in jeder Region den täglichen Frischzuwachs zu ermitteln und auf Kurven zu übertragen (wie sie hier angefertigt wurde), um den Wasserverbrauch zu den verschiedenen Entwicklungsstadien errechnen und die Wassergabe entsprechend dosieren zu können.

Eine Erhöhung der Luftumwälzung von 11 mal/Std. auf 110 - 220 mal/Std. (zehn- bis zwanzigfache) wäre erforderlich, um die Feuchtigkeit in den Trockenkästen und die Temperatur in der gesamten Versuchsanlage herabzusetzen. In der Literatur werden Werte von 0,3 bis 0,6 m/Sek. Luftgeschwindigkeit angegeben, um eine optimale CO₂-Diffusion und damit optimales Wachstum zu erreichen (LUNDEGARDH 1921, DENECKE 1931, WADSWORTH 1960). Im Phytotron von Rauischholzhausen beträgt die Luftgeschwindigkeit 0,1 - 0,2 m/Sek. (BRETSCHNEIDER-HERRMANN 1962). Um hohe Temperaturen in Gewächshäusern der Außentemperatur anzugleichen, ist eine Luftumwälzung von 50 - 100 pro Stunde erforderlich (HOARE und MORRIS 1956).

Für genauere Auswertungen im Sinne der vorliegenden Versuchsergebnisse wäre es zweckmäßig, die Kontrollpflanzen in einem fünften Kasten, mit normaler Luft (ohne CO₂-Zusatz), zu kultivieren.

Es ist jedoch zu betonen, daß trotz der oben erwähnten Mängel bei der Versuchsdurchführung, hinreichend genaue und interessante Ergebnisse mit einfachen und kostensparenden Mitteln erzielt wurden. Die gesamte Versuchsanlage wurde in der Werkstatt des Instituts angefertigt. Es bestätigt sich auch hier die altbekannte Tatsache, daß man mit einfachen Mitteln, die leicht und sicher kontrollier- und regulierbar sind, häufig genauso gute Ergebnisse erzielen kann, wie dies bei einem großen technischen Aufwand der Fall ist. Trotzdem würde eine systematische Weiterarbeit an vorliegendem Problem umfangreichere technische Mittel erfordern.

Nährstoffaufnahme und -verteilung

Die hohe und vor allem die niedrige Luftfeuchtigkeit erhöhen bei Hafer und Raps etwas den Gehalt an N und P in der Gesamtpflanze sowie in den einzelnen Pflanzenteilen, blieben aber ohne deutlichen Einfluß sowohl auf die Aufnahme als auch auf die Verteilung. Die scheinbar verstärkte oder verminderte Aufnahme war durch Veränderung der Erträge der verschiedenen Pflanzenteile bedingt (vorwiegend niedrige Kornerträge und hohe Halmerträge der Haferpflanzen).

Die K-Aufnahme und -Verteilung wurden bei Hafer zu den verschiedenen Entwicklungsstadien (Erntezeiten) von der Höhe der Transpiration scheinbar beeinflusst. Der Gehalt der oberen Blätter und Internodien sowie der Spreu wurde bei den Feuchtpflanzen stark erniedrigt, bei den Trockenpflanzen aber erhöht. Bei Raps war der Einfluß der hohen und der niedrigen Luftfeuchtigkeit auf den Gehalt an K nicht deutlich erkennbar. Die Aufnahme in beiden Varianten (Feucht und Trocken) wurde leicht erhöht, die Verteilung aber nicht beeinflusst. Die Abnahme der K-Gehalte in den oberen Blättern, Internodien und Spreu der Haferfeuchtpflanzen ist vermutlich auf einen Mangel an K zurückzuführen. Es ist bekannt, daß das K-Ion zu den sehr "stoffwechselaktiven" Ionen gehört (MICHAEL und MARSCHNER 1962). Andererseits zählt das K zu den Mineralstoffen, die sehr leicht der Auswaschung unterliegen (WAGNER 1932, IVANOW 1963).

Die Aufnahme und vor allem die Verteilung von Ca und Mg wurde

in den Hafer- und Rapspflanzen von der Höhe der Transpiration deutlich beeinflußt. Die oberen Blätter und die Spreu der Feuchtpflanzen wiesen niedrige Ca- und Mg-Gehalte, die der Trockenpflanzen höhere Gehalte auf. Wie die Blätter ist die Spreu als Assimilationsorgan am Aufbau der Körner mit 20 - 35 % beteiligt, und ihr Gehalt an Ca und Mg wird von der Transpirationsgröße beeinflußt (BIRECKA und SKUPINSKA 1963, STOY 1963).

Es ist zu bemerken, daß bei Ca die Abhängigkeit der Aufnahme und Verteilung von der Transpiration deutlicher zu erkennen war als bei Mg. Es scheint also, wie auch MARSCHNER (1964) angedeutet hat, daß die Aufnahme der einzelnen Ionen in unterschiedlichem Maße durch die Transpiration beeinflußt wird.

Eine andere Tatsache kommt hier deutlich zum Ausdruck, nämlich daß die einzelnen Pflanzenarten die Ionen aus der gleichen Außenlösung unter Einfluß der Transpiration in recht unterschiedlichem Maße aufnehmen (MARSCHNER 1964).

Die vorliegenden Versuchsergebnisse stimmen also mit den derzeitigen Ergebnissen anderer Forscher überein, vor allem hinsichtlich der Auffassung, daß sehr "stoffwechselaktive" (high accumulative) Ionen, wie z.B. K^+ , bei der Aufnahme eine geringere Transpirationsabhängigkeit aufweisen als weniger "stoffwechselaktive" Ionen, wie z.B. Ca^{++} . Es zeigt sich auch hier, daß die Hauptbedeutung des Transpirationsstromes in der Weiterleitung der durch die Wurzelzellen aktiv in die Gefäße gepumpten Ionen nach den Sprossen und vor allem in die der Wurzel entferntesten Sproßteile, nämlich der jüngsten Blätter, liegt (MICHAEL und MARSCHNER 1962).

Es ist letztlich zu erwähnen, daß die CO_2 -Begasung eine Gehaltsverminderung an allen Nährstoffen bewirkte. Dagegen führte sie zu einer leichten Erhöhung der Aufnahme. Das ist verständlich, da eine, durch hohen CO_2 -Gehalt der Luft, verstärkte Photosynthese die Vermehrung an "Lebendem System" fördert. Das heißt neue Produkte werden gebildet die einen "Produktkonsum" an Nährstoffen erfordern. Es folgt, daß der Nährstoffgehalt des Gesamtertrages (System und Produkt) vermindert bzw. verdünnt wird (Systemverdünnung).

Abschließend ist zu erwähnen, daß der Einfluß der CO_2 -Begasung auf die Qualität der Photosyntheseprodukte eine interessante Aufgabe neuerer Untersuchungen darstellt (MORTIMER 1959).

V. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluß unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit und des CO_2 -Gehaltes der Luft auf den Transpirationsquotienten (TQ) sowie die Nährstoffaufnahme und -verteilung bei Hafer- und Rapspflanzen untersucht.

1. Nach einer Beschreibung der ariden Zone mit ihren wesentlichen Charakteristika und einer Darstellung ihrer Lokalisierung auf der Erdoberfläche wird die Beeinflussung des Pflanzenwachstums durch die ungünstigen ariden Verhältnisse ausführlich behandelt. Es werden Möglichkeiten diskutiert, den Transpirationsquotienten herabzusetzen und bessere und höhere Erträge zu erzielen und damit einen Teil des steigenden Bedarfs der Welt an Nahrungsmitteln zu decken. Eine solche Möglichkeit ist die Ausschaltung extremer Klima-Bedingungen und die ökonomische Verwertung des vorhandenen wassers, d.h. in einem für Wasser "geschlossenen System" wird die unnötige, sehr hohe Evapotranspiration eingeschränkt und das in die Atmosphäre verlorengehende Wasser zurückgewonnen.

Es folgt ein Literaturüberblick, in dem vornehmlich Arbeiten über den Einfluß unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit und des CO_2 -Gehaltes der Luft auf den TQ sowie die Nährstoffaufnahme und -verteilung in der Pflanze angeführt und diskutiert werden.

2. Eigene Versuche wurden 1967 mit Hafer und Raps und 1968 mit Hafer durchgeführt. Die Pflanzen wurden in Mitscherlichgefäßen auf natürlichem Boden angebaut. Während des Versuchs wurde täglich einmal auf 70 % der maximalen Wasserkapazität gegossen. Der wesentliche Teil der Versuchsanlage waren vier gleiche, mit lichtdurchlässiger Polyäthylenfolie bespannte Vegetationskästen. Die vier Kästen (je 2 m^3 Volumen) wurden mittels eines Gebläses gleichmäßig belüftet, so daß die Luftumwälzung in ihnen 11 mal/Std. betrug. Die Luft wurde vor dem Einströmen in die Kästen 1 und 2 befeuchtet, vor Eintritt in die Kästen 3 und 4 entfeuchtet. In die Kästen 1 und 4 wurde zusätzlich CO_2 eingeleitet, so daß in ihnen die CO_2 -Konzentration zwischen 0,10 und 0,15 Vol.-%

betrug. Die CO₂-Begasung dauerte täglich 8 Stunden (von 9 - 17 Uhr).

Der Haferversuch begann am 30. 5. 1967 mit sieben Wochen alten Pflanzen. Die Gefäße wurden in fünf Gruppen bzw. Varianten geteilt und wie folgt in die Kästen eingesetzt (8 Gefäße/Variante):

Variante I	Kontrolle	(in der Halle)
Variante IV	Feucht + CO ₂	(im Kasten 1)
Variante II	Feucht	(im Kasten 2)
Variante III	Trocken	(im Kasten 3)
Variante V	Trocken + CO ₂	(im Kasten 4)

Der Versuch dauerte 62 Tage. Die relative Luftfeuchtigkeit in den Feuchtkästen betrug zu Beginn des Versuchs am Tage 85 % (Wochendurchschnitt). Sie sank allmählich ab, um am Ende des Versuchs nur 70 % zu erreichen. Während der Nacht betrug die Luftfeuchtigkeit 93 - 97 %. In den Trockenkästen sank die Luftfeuchtigkeit bis zur vierten Woche am Tage bis auf 62 - 68 % (höher als bei der Kontrolle). Dann fiel sie ab und erreichte in den letzten drei Wochen nur 37 %. Nachts wies sie Werte von 50 - 65 % auf. An heißen Tagen fiel die Luftfeuchtigkeit in den Feuchtkästen bis auf 60 - 70 % ab; nachts stieg sie bis auf etwa 100 % an. In den Trockenkästen stieg die Luftfeuchtigkeit auf 50 - 70 % an; nachts und an kühlen Tagen war sie niedriger (50 - 60 %).

Die Temperatur lag tagsüber in den Feuchtkästen um 3 - 8°C, in den Trockenkästen um 7 - 13°C (Wochendurchschnitt) höher als bei der Kontrolle. Die Ernte erfolgte zu vier verschiedenen Zeitpunkten: 2, 4, 6 und 9 Wochen nach Versuchsbeginn. Bei jedem Erntetermin wurden 10 Gefäße (2 Gefäße je Variante) geerntet. Die Blätter sowie die Internodien wurden von oben nach unten in drei Etagen geerntet. Diese Unterteilung bezweckte, durch spätere Analyse die Nährstoffaufnahme und -verteilung in der Pflanze zu untersuchen.

Der Rap-versuch begann am 12. 9. 1967 mit drei Wochen alten Pflanzen und verlief unter den gleichen Bedingungen wie der Haferversuch, mit der Ausnahme, daß hier jede der fünf Varianten aus vier Ge-

fäßen bestand, und daß keine Zwischenernten vorgenommen wurden. Die Ernte erfolgte am 10. 10. 1967, genau vier Wochen nach Versuchsbeginn, etagenweise wie beim Haferversuch. Die Luftfeuchtigkeit in den Feuchtkästen betrug am Tage 80 - 90 %, während der Nacht 90 - 97 % (Wochendurchschnitt). In den Trockenkästen betrug sie am Tage 50 - 67 %. Nachts war sie 3 - 7 % niedriger. Die Temperatur lag tagsüber in den Feucht- und Trockenkästen um 3 - 5°C höher als bei der Kontrolle.

Im Jahre 1968 wurde ein weiterer Versuch mit Hafer durchgeführt. Die Versuchsanordnung war die gleiche wie beim Haferversuch 1967, nur wurde diesmal von einer Be- und Entfeuchtung der Luft abgesehen. Die Kästen 2, 3 und 4 erhielten eine zusätzliche CO₂-Gabe, so daß in ihnen die CO₂-Konzentration auf 0,1, 0,2 und 0,3 Vol.-% erhöht wurde. Der Kasten 1 wurde ohne CO₂-Zusatz belüftet (0,03 % CO₂). Die CO₂-Begasung dauerte täglich 8 Stunden (von 9 - 17 Uhr). Die Wasserzufuhr erfolgte hier durch eine in den Boden eines jeden Gefäßes gesetzte perforierte Plastikflasche (0,7 l), da beim Haferversuch 1967 ein schlechtes Eindringen des Gießwassers in den Boden und eine beachtliche Evaporation festgestellt wurde. Dieses Gießverfahren bewährte sich sehr gut hinsichtlich besserer Wasserverteilung im Boden, Einschränkung der wasserverluste durch Evaporation und "Durchlaufen" des Wassers in die Auffangschale.

Der Versuch begann am 27. 5. 1968 mit sieben Wochen alten Pflanzen. Die Gefäße wurden in fünf Varianten (4 Gefäße je Variante) aufgeteilt und in die Kästen wie folgt eingesetzt:

Variante I	Kontrolle	(in der Halle)
Variante II	0,03 Vol.-% CO ₂	(im Kasten 1)
Variante III	0,1 " "	(im Kasten 2)
Variante IV	0,2 " "	(im Kasten 3)
Variante V	0,3 " "	(im Kasten 4)

Die Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede zwischen den Kästen und der Außenatmosphäre betrugen tagsüber 5 - 10°C und 10 - 20 % (Wochendurchschnitt), nachts waren sie unbedeutend. Der Versuch dauerte 63 Tage, und die Ernte erfolgte am 3.7.1968.

3. Die Ergebnisse des Hafer- und Rapsversuchs 1967 und des Haferversuchs 1968 können wie folgt zusammengefaßt werden:

a) Trockensubstanzproduktion

Trotz hoher Luftfeuchtigkeit blieben die Feuchtpflanzen auf Grund der kontinuierlichen Belüftung gesund. Wider Erwarten beeinflusste die hohe Luftfeuchtigkeit gegenüber der Kontrolle kaum den Gesamtertrag der Hafer- und Rapspflanzen, obwohl das Längenwachstum und die Bestockung (bei Hafer) stark gefördert wurden. Bei Hafer war das hauptsächlich, bei erhöhtem Strohertrag, auf den niedrigen Kornertrag, der durch zeitweise sehr hohe Luftfeuchtigkeit (Taubrispenbildung) verursacht wurde, zurückzuführen. Bei Raps lag die Ursache für den wenig veränderten Ertrag in der kurzen Versuchsdauer (4 Wochen) und in einer verminderten Photosynthese, die durch schlechtes Wetter (wenig Sonne) und geringere Lichtintensität in den Kästen bedingt war.

In den Trockenkästen verminderte die niedrige Luftfeuchtigkeit den Gesamtertrag, gegenüber der Kontrolle, der Hafer- (vorwiegend durch starkes Absinken des Kornertrages) und der Rapspflanzen.

Auf den Wurzelерtrag wirkte sich sowohl die hohe als auch die niedrige Luftfeuchtigkeit mindernd aus. Auch hier dürften eine geringere Lichtintensität bzw. gehemmte Photosynthese in den Kästen die Wurzel Ausbildung beeinträchtigt haben.

Die Begasung mit CO₂ übte in jedem Fall sowohl auf den oberirdischen Pflanzenерtrag als auch auf den Wurzelерtrag der Versuchspflanzen (Hafer 1967, Raps 1967 und Hafer 1968) einen günstigen Einfluß aus. Bemerkenswert ist die Feststellung, daß die CO₂-Begasung die Bestockung, das Dicken- und Längenwachstum der Stengel und vor allem den Kornertrag stark förderte. Außerdem bewirkte die CO₂-Begasung eine beachtliche Verkürzung der Vegetationszeit bei Hafer- und Rapspflanzen (1 Woche und mehr bei Hafer^{*)}). Weiterhin scheint sie hemmend auf den Befall des Hafers mit Echten Mehltauipilzen einzuwirken.

b) Wasserverbrauch

Die Transpirationsraten der Feuchtpflanzen lagen deutlich unter (67,0 % bei Hafer und 41,7 % bei Raps), die der Trockenpflanzen deutlich über (114,4 % bei Hafer und 133,6 % bei Raps) den der Kontrollpflanzen.

Die CO₂-Begasung verminderte den Wasserverbrauch und zwar durch Verkleinerung der Stomataweite, wie durch mikroskopische Untersuchungen bestätigt wurde. Bemerkenswert ist jedoch die Feststellung, daß diese Transpirationssenkung mehr auf Beschleunigung des Reifeprozesses, als auf Verengung der Stomata zurückzuführen ist. Die Verminderung der Transpiration durch CO₂-Begasung kam bei den Trockenpflanzen viel deutlicher zum Ausdruck (um 37,7% bei Hafer 1967 und 8,5 % bei Raps 1967) als bei den Feuchtpflanzen (um 7,2 % bei Hafer und 1,1 % bei Raps).

Beim Haferversuch 1968 war die Transpirationssenkung der begasten gegenüber den nichtbegasten Pflanzen (0,03 %) wie folgt:
Um 7,5 % (bei 0,1 % CO₂), 9,8 % (bei 0,2 % CO₂) und 12,0 % (bei 0,3 % CO₂).

c) Transpirationsquotienten

Die Transpirationsquotienten wurden durch hohe Luftfeuchtigkeit stark erniedrigt: Bei Hafer -letzte Ernte 1967- bis auf 210 (um 34,2 %) gegenüber 319 in der Kontrolle und bei Raps bis auf 44 (um 37,7 %) gegenüber 105 in der Kontrolle.

Die CO₂-Begasung senkte ebenfalls die TQ, so daß die begasten Feuchtpflanzen bei Hafer einen TQ von 137 gegenüber 210 bei den nichtbegasten Pflanzen (= Senkung um 22,9 %) aufwiesen und bei Raps von 31 bei den begasten Feuchtpflanzen gegenüber 44 bei den nichtbegasten Pflanzen (= Senkung um 6,7 %). Insgesamt war die Wassereinsparung bzw. die Senkung der Transpirationsquotienten durch Erhöhung der Luftfeuchtigkeit beträchtlich; trotzdem blieb sie hinter den Erwartungen zurück.

Beim Haferversuch 1968 betrugen die TQ der begasten Pflanzen 181 (0,1 % CO₂), 176 (0,2 % CO₂) und 151 (0,3 % CO₂), die der nichtbegasten (0,03 % CO₂) 262.

d) Nährstoffaufnahme und -verteilung

Die hohe und vor allem die niedrige Luftfeuchtigkeit erhöhten gegenüber der Kontrolle bei Hafer und Raps leicht den Gehalt an N und P in der Gesamtpflanze sowie in den einzelnen Pflanzenteilen, blieben aber ohne deutlichen Einfluß sowohl auf die Gesamtaufnahme als auch auf die Verteilung.

Auch die K-Aufnahme und -Verteilung bei Hafer- und Rapspflanzen scheint nicht von der Höhe der Luftfeuchtigkeit bzw. der Höhe der Transpiration beeinflusst zu werden; die Abnahme der K-Gehalte in den oberen Blättern, Internodien und der Spreu der Haferpflanzen ist vermutlich auf ein, durch Guttation und Auswaschung verursachtes K-Defizit und nicht auf eine durch eingeschränkte Transpiration bedingte Hemmung des K-Transportes in die oberen Pflanzenteile, zurückzuführen.

Die Aufnahme und vor allem die Verteilung von Ca und Mg dagegen wurden in den Hafer- und Rapspflanzen von der Höhe der Transpiration deutlich beeinflusst. Die oberen Blätter und die Spreu der Feuchtpflanzen wiesen niedrigere, die der Trockenpflanzen höhere Ca- und Mg-Gehalte als die Kontrolle auf. Es ist jedoch zu bemerken, daß die Abhängigkeit der Aufnahme und Verteilung von der Transpiration bei Ca deutlicher zu erkennen war als bei Mg.

Es ist letztlich zu erwähnen, daß die CO₂-Begasung eine Gehaltsverminderung an allen untersuchten Nährstoffen bewirkte. Dagegen übte sie keinen deutlichen Einfluß auf die Gesamtaufnahme an diesen Nährstoffen aus, was vermuten läßt, daß es sich allgemein um einen "Verdünnungseffekt", verursacht durch die verstärkte Ertragsbildung unter dem Einfluß der CO₂-Begasung, handelt.

Zusammenfassend haben die Versuche deutlich gezeigt, daß beim Anbau von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in geschlossenen Anlagen, bei kontrollierter hoher Luftfeuchtigkeit und CO₂-Anreicherung der Atmosphäre, der Transpirationsquotient gesenkt bzw. eine befriedigende Pflanzenproduktion mit stark vermindertem Wasserverbrauch erzielt werden kann.

V I. A n h a n g

Physikalische und chemische Eigenschaften der Polyäthylenfolie
zur Bespannung der Vegetationskästen.

PÄ-Folien nied. Dichte

Herstellverfahren	-	Blas, Flach
Folien-Dichte	-	0,910 - 0,925
Transparenz (sichtb.Licht)	%	40 - 90
Glanz (45°)	Photovolt	30 - 45
Wasseraufnahme	% / 24 h	0,005 - 0,08
Wasserdampfdurchlässigkeit	$\text{g/m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot 25\mu\text{·atm};$ 38°C; 90% r.L.	9 - 22
Gasdurchlässigkeit O ₂	$\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot 25\mu\text{·atm};$ 23°C; 0% r.L.	2700 - 11 000
CO ₂	dto.	15 000 - 45 000
Aromadichte	sehr gut·gut· mässig·schlecht	schlecht
Fettdichte	dto.	mäßig
Chemikal.beständ.:Säuren	beständ.·bedingt best.·unbeständig	beständig
Alkalien	dto.	"
Wasser	dto.	"
Alkohol	dto.	"
Öle,Fette	dto.	bedingt beständig
aliphat.Kw-stoffe	dto.	beständig
aromat. " "	dto.	bedingt beständig
chlorierte " "	dto.	unbeständig
Äther	dto.	"
Ester	dto.	bedingt beständig
Ketone	dto.	" "
Gebrauchstemp.kurzfristig	- 0°C	60
	+ "	90
Dauer-	- "	50
	+ "	60 - 80
Schweisverfahren	Wk·Wi·Gd·Hf·Us	Wk, Wi, Gd
Schweisstemperatur	0°C	110 - 150
Bruchdehnung längs	% g)gerecht	100 - 600
quer	" " " " "	450 - 800 60-908)
Zugfestigkeit längs	kg/cm^2 g)gerecht	90 - 390 560-1120 ⁸
quer	" " " " "	80 - 250
Einreissfestigk.längs	g	.
quer	"	.
Weiterreissfestigk.längs	g (Elmendorf)	50 - 350
quer	"	75 - 175
Berstfestigkeit	kg/cm^2 (Mullen	.
Kerbschlagzähigkeit	cmkg/cm^2	bricht nicht
Elastizitätsmodul	kg/cm^2	1000 - 2600

Firma
Feldmühle
Viersen (Rhld.)

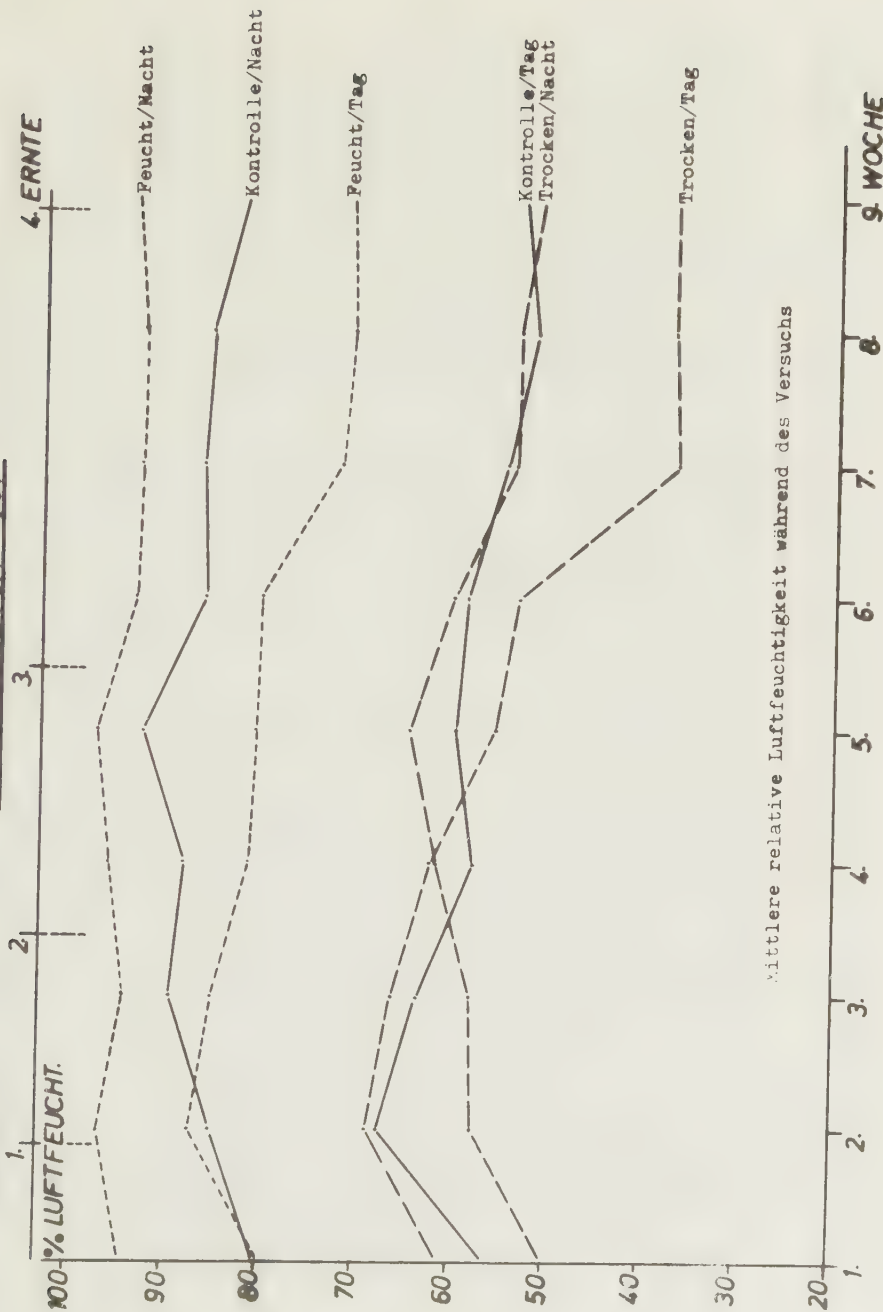
HAFERVERSUCH 1967

Tab. 14 a)

Mittlere Temperatur während des Versuchs



HAFERVERSUCH 1967



Mittlere relative Luftfeuchtigkeit während des Versuchs

Verlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationszeit bei Hafer 1967

K o n t r o l l p f l a n z e n (Halle)

Tabelle 3 a

Woche	Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Mittelwert	
	Tag	Nacht	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
29.5. t ⁰ C	-	-	14,0	8,8	12,5	8,5	18,6	8,7	22,7	8,0	24,3	12,7	24,5	12,0	18,8	9,8
b. 4.6. f %	-	-	60,0	75,0	71,0	81,7	59,5	77,7	46,8	84,5	45,8	73,0	52,7	88,8	56,0	80,2
5.6. t	15,2	10,5	25,2	8,8	17,2	11,8	13,2	8,7	11,3	5,8	14,3	7,5	11,5	6,7	15,4	8,5
b. 11.6. f	59,0	78,3	58,5	95,3	77,8	93,7	73,8	84,2	63,3	75,0	63,3	77,5	77,2	91,5	67,6	85,1
12.6. t	14,5	-2,0	13,5	7,3	13,5	8,0	11,2	6,7	15,8	6,0	22,2	12,2	21,3	10,2	16,0	6,9
b. 18.6. f	56,7	94,2	54,3	79,5	75,8	90,8	77,3	91,8	68,3	96,8	50,7	80,2	61,8	93,8	63,6	89,6
19.6. t	17,7	11,2	18,7	11,2	14,5	7,3	23,8	8,7	27,8	18,5	29,2	13,5	30,3	15,8	23,1	12,3
b. 25.6. f	70,7	90,8	66,8	87,0	70,8	81,5	49,7	93,3	48,0	89,8	51,8	98,7	47,7	75,7	57,9	88,1
26.6. t	25,0	11,7	14,0	11,7	17,7	7,2	21,8	8,5	24,8	9,7	26,3	12,7	31,8	16,3	23,1	11,1
b. 2.7. f	54,7	91,0	87,8	84,3	66,2	95,8	56,3	92,8	54,5	92,2	50,8	96,7	48,8	95,0	59,9	92,5
3.7. t	18,8	9,7	18,2	9,7	20,0	7,5	22,5	7,2	18,5	12,5	17,7	13,0	20,0	11,0	19,4	10,1
b. 9.7. f	75,0	88,2	53,0	86,0	49,8	83,3	50,0	96,0	55,8	94,8	73,3	77,8	54,3	76,3	58,8	86,1
10.7. t	26,3	13,3	28,7	12,5	28,7	12,5	28,2	15,3	27,2	18,7	21,7	11,5	23,0	10,8	26,2	13,5
b. 16.7. f	50,5	74,8	45,3	82,5	44,0	89,3	47,7	88,3	57,8	82,8	78,2	94,2	58,3	94,0	54,5	86,6
17.7. t	24,5	15,0	29,8	12,7	31,3	16,3	23,5	11,0	23,2	11,5	29,2	15,8	23,7	14,5	26,5	13,8
b. 23.7. f	45,8	77,5	47,2	95,5	49,5	89,5	61,5	85,5	53,3	87,2	47,0	84,8	57,7	80,8	51,7	85,8
24.7. t	23,8	11,0	26,2	12,8	27,8	14,5	30,0	15,0	27,2	17,2	23,5	15,2	28,0	17,0	26,6	14,7
b. 30.7. f	58,2	90,0	47,7	78,0	49,0	80,0	44,2	78,5	54,5	90,3	64,5	84,8	54,2	91,0	53,2	82,3

Mittelwert während der Versuchsdauer

Temperatur	Tag	21,79°C	Feuchtigkeit	Tag	58,15 %
	Nacht	11,22°C		Nacht	86,61 %

Aus den Thermohygrogrammen wurden alle zwei Stunden die Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit abgelesen und daraus die Mittelwerte während des Tages (8 - 18 Uhr) und während der Nacht (20 - 6 Uhr) errechnet.

Verlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationszeit bei Hafer 1967

Tabelle 3 b
F e u c h t p l a n z e n (Kasten 2)

Woche	Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Mittelwert	
	Tag	Nacht	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
29.5. t°C	-	-	19,1	11,0	12,8	9,3	21,2	10,3	28,5	12,0	29,0	15,2	28,5	13,8	22,8	12,0
b. 4.6. f %	-	-	81,1	95,3	91,3	90,0	81,3	90,5	69,7	94,7	74,5	95,0	78,8	96,5	79,6	94,1
3.6. t	19,3	13,3	20,0	14,8	15,7	14,2	16,5	11,2	17,0	9,0	16,7	10,0	14,7	8,0	17,7	11,5
b. 11.6. f	75,7	90,5	78,3	97,5	92,5	97,0	91,8	98,0	88,5	98,0	89,3	98,0	95,2	92,0	87,3	96,7
12.6. t	20,0	8,8	19,0	8,8	15,0	10,2	14,5	8,0	21,8	8,3	28,0	14,3	27,3	14,2	20,8	10,4
b. 18.6. f	81,0	90,2	85,2	90,7	93,3	92,5	94,3	95,3	82,0	95,2	78,3	97,5	82,0	99,2	85,2	94,4
19.6. t	20,7	12,5	24,3	13,5	19,3	9,3	29,7	12,7	31,8	20,0	32,8	16,3	36,3	18,2	27,9	14,6
b. 25.6. f	89,8	94,0	82,0	92,7	87,5	90,7	75,8	98,7	78,2	98,0	79,2	97,7	76,7	98,8	81,3	95,8
26.6. t	30,2	14,5	16,3	12,5	22,3	11,7	29,0	12,2	29,5	13,2	33,5	17,0	37,0	18,8	28,3	14,3
b. 2.7. f	79,7	97,8	90,3	95,3	84,8	99,8	79,5	99,3	81,0	98,7	73,7	94,0	69,8	95,8	80,7	97,3
3.7. t	25,3	13,0	26,0	12,8	29,7	9,8	29,0	10,5	24,2	14,3	22,3	13,8	23,7	11,7	25,7	12,3
b. 9.7. f	87,3	91,5	74,3	94,3	74,8	96,0	74,0	97,8	84,5	96,2	85,0	87,3	82,7	94,0	80,4	93,4
10.7. t	32,8	15,2	38,3	14,7	38,2	15,8	33,8	17,0	33,3	19,8	25,3	13,7	27,5	13,3	32,8	15,6
b. 16.7. f	72,0	90,2	64,7	91,0	66,0	92,3	76,3	91,8	73,2	91,8	76,3	95,5	76,0	97,8	72,1	92,9
17.7. t	36,3	16,0	39,3	14,5	37,2	19,0	29,0	13,7	29,5	12,8	33,2	16,2	30,3	15,0	33,5	15,3
b. 23.7. f	70,5	90,0	63,2	95,7	72,2	93,7	67,3	91,2	76,3	95,0	75,3	92,2	71,8	90,5	71,0	92,6
24.7. t	31,7	12,8	35,8	14,3	36,0	15,8	39,0	17,2	30,5	17,3	33,2	17,0	35,2	17,2	34,5	16,0
b. 30.7. f	71,2	91,7	66,7	93,0	68,5	92,7	68,2	92,0	78,0	91,8	73,7	97,0	73,8	96,8	71,4	93,6

Mittelwert während der Versuchsdauer

Temperatur	Tag 27,21°C	Feuchtigkeit	Tag 78,75 %
"	Nacht 13,60°C	"	Nacht 94,54 %

Aus den Thermohygrogrammen wurden alle zwei Stunden die Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit abgelesen und daraus die Mittelwerte während des Tages (8 - 18 Uhr) und während der Nacht (20 - 6 Uhr) errechnet.

Verlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationszeit bei Hafer 1967

Tabelle 3 c

Trockenpflanzen (Kasten 3)

Woche	Temperatur	Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Mittelwert	
		Tag	Nacht	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
29.5. t°C		-	-	21,0	8,0	22,0	8,2	23,3	9,2	31,3	11,0	33,0	14,3	31,8	15,3	26,3	10,5
b. 4.6. f %		-	-	66,7	43,7	54,2	45,0	57,7	48,5	58,3	50,0	59,7	50,3	66,2	55,0	60,9	49,8
5.6. t		21,3	12,2	33,0	13,2	22,0	13,0	18,0	9,5	17,2	7,2	19,0	8,3	14,7	7,0	20,7	10,0
b. 11.6. f		65,8	54,8	66,3	59,7	66,8	55,5	68,8	57,3	71,2	58,3	68,2	57,7	72,8	59,5	68,6	57,5
12.6. t		22,7	7,8	21,3	7,3	15,2	8,5	15,0	6,2	25,0	5,8	32,2	14,0	31,7	13,3	23,3	9,0
b. 18.6. f		64,5	55,5	67,5	49,5	63,5	57,8	66,5	54,3	66,5	64,8	65,2	64,2	70,3	59,8	66,3	58,0
19.6. t		24,0	12,5	28,0	13,2	20,5	7,3	35,2	10,2	39,8	20,7	40,0	14,7	41,8	19,2	32,8	14,0
b. 25.6. f		65,0	56,2	71,7	59,7	71,5	62,2	65,8	65,3	54,0	59,2	55,7	68,7	53,0	60,8	62,4	61,7
26.6. t		36,3	12,3	18,2	11,8	27,2	8,8	37,5	8,3	37,8	9,3	40,7	16,5	43,8	18,8	34,5	12,3
b. 2.7. f		49,5	61,2	63,3	64,0	64,8	65,2	54,7	64,2	54,8	65,5	52,2	66,2	50,7	66,5	55,7	64,7
2.7. t		29,0	12,3	30,3	12,0	29,2	7,5	35,2	8,2	29,2	14,7	25,7	13,7	28,3	11,2	29,5	11,4
b. 9.7. f		61,7	63,7	56,2	59,8	52,8	58,8	51,3	61,8	46,2	56,0	50,0	58,8	52,2	62,2	53,3	60,2
10.7. t		37,5	15,2	44,8	14,2	44,5	15,0	41,8	17,5	39,3	20,7	29,3	12,8	39,8	21,2	39,6	16,6
b. 16.7. f		39,0	51,5	30,5	51,2	33,8	55,0	35,5	55,2	35,7	53,3	49,3	59,2	33,0	51,5	36,7	53,8
1.7. t		40,3	16,5	45,7	14,0	45,5	19,8	33,3	13,5	34,7	12,3	37,8	16,7	36,7	20,0	39,1	16,1
b. 23.7. f		31,3	47,3	30,0	54,5	34,6	55,2	38,0	50,0	34,3	50,8	47,8	61,2	38,3	55,7	37,2	53,5
24.7. t		37,5	12,2	41,2	13,7	42,7	15,8	43,8	17,2	34,7	18,3	35,2	16,5	41,3	17,8	39,5	15,9
b. 30.7. f		35,0	47,8	32,7	47,7	32,5	46,5	31,8	45,5	35,8	52,5	53,0	63,8	39,8	58,8	37,2	51,2

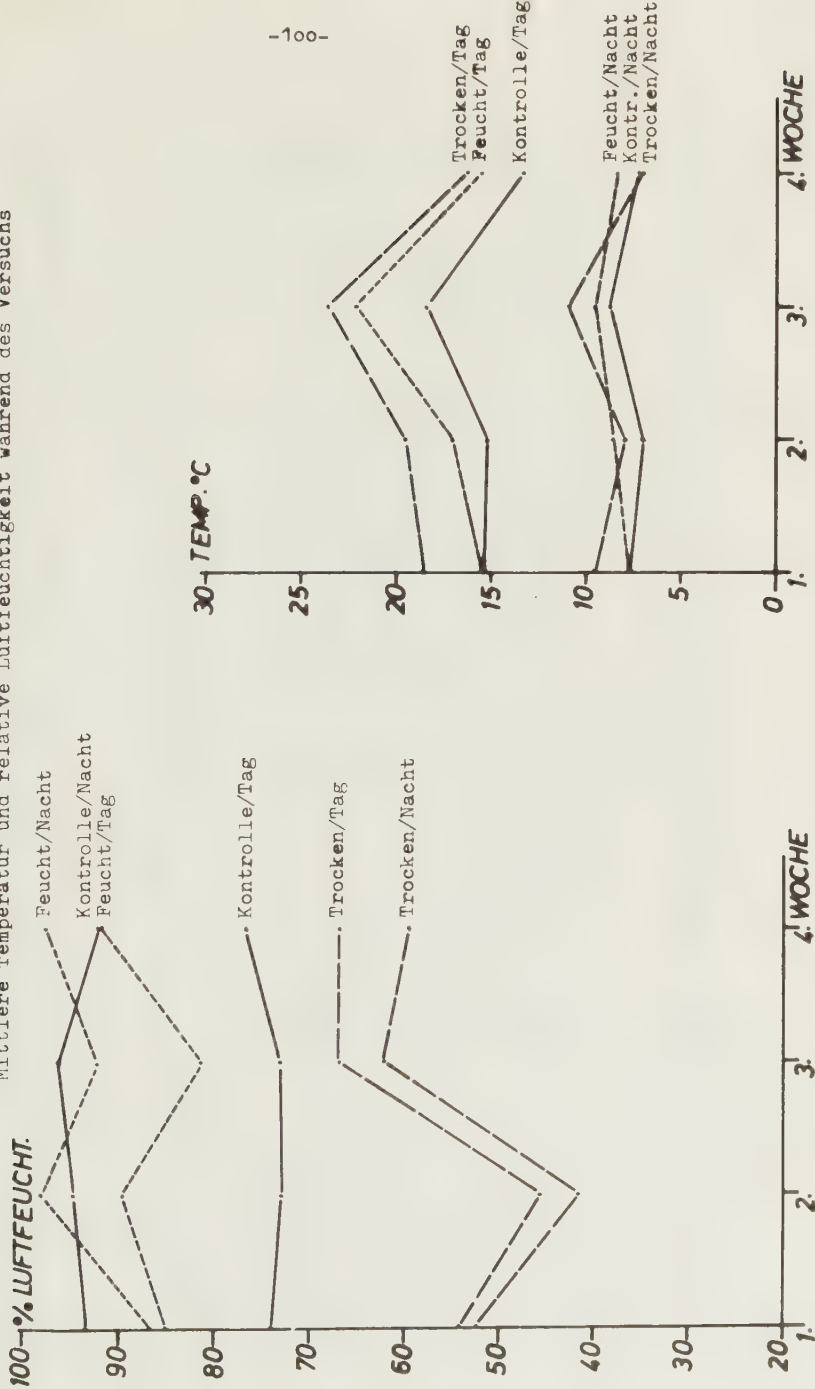
Mittelwert während der Versuchsdauer

Temperatur	Tag	31,87°C	Feuchtigkeit	Tag	52,98 %
"	Nacht	12,96°C	"	Nacht	56,73 %

Aus den Thermogrammprogrammen wurden alle zwei Stunden die Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit abgelesen und daraus die Mittelwerte während des Tages (8 - 18 Uhr) und während der Nacht (20 - 6 Uhr) errechnet.

RAPSVERSUCH 1967

Mittlere Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit während des Versuchs



Verlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationszeit bei Raps 1967

Tabelle 5 a K o n t r o l l p l a n z e n (Halle)

		Sonntag		Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Mittelwert	
Woche		Temperatur		T		N		T		N		T		N		T		N	
11.9. t		-		11,8		5,2		19,2		9,3		11,0		8,3		9,8		6,7	
b. 1.9. F		-		68,8		87,3		57,5		86,0		98,2		100,0		94,7		100,0	
15.9. t		17,0		9,2		14,3		7,2		16,5		7,3		9,2		6,8		12,0	
b. 24.9. F		71,0		95,3		85,2		100,0		66,5		95,7		99,7		100,0		69,8	
25.9. t		21,2		11,0		21,0		12,0		20,2		8,3		18,7		9,8		17,5	
b. 1.10. F		69,2		98,5		73,3		96,5		71,5		99,3		75,8		96,8		79,0	
2.10. t		13,5		7,3		14,5		6,2		9,0		4,8		11,0		4,5		11,2	
b. 8.10. F		73,7		93,7		63,5		83,8		88,5		91,8		77,0		87,5		69,5	

Mittelwert während der Versuchsdauer

Temperatur	Tag 15,54 ^o C	Feuchtigkeit	Tag 74,38 %
"	Nacht 7,79 ^o C	"	Nacht 94,38 %

Aus den Thermogrammuren wurden alle zwei Stunden die Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit abgelesen und daraus die Mittelwerte während des Tages (8 - 18 Uhr) und während der Nacht (20 - 6 Uhr) errechnet.

Verlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationszeit bei Raps 1967

Tabelle 5 b Feuchtplanzen (Kasten 2)

Woche		Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Mittelwert	
		Tag	Nacht	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
11.9.	t°C	-	-	10,8	5,5	20,3	10,0	11,2	7,7	9,2	6,0	23,7	9,3	18,0	7,5	15,5	7,7
b. 17.9.	F %	-	-	81,3	80,2	85,0	84,2	93,2	91,2	84,0	87,8	80,2	88,3	86,3	88,7	85,0	86,7
18.9.	t	19,2	10,7	15,2	8,7	17,3	8,8	10,7	8,2	13,8	7,7	21,2	7,0	22,2	9,0	17,1	8,6
b. 24.9.	F	88,2	94,7	89,3	96,0	93,5	98,3	93,8	99,8	93,8	98,3	82,8	99,5	86,3	99,3	89,7	98,0
25.9.	t	24,7	12,0	23,5	13,2	25,7	10,2	22,0	10,5	21,3	11,7	17,0	5,2	21,0	4,7	22,2	9,6
b. 1.10.	F	80,0	92,7	82,0	91,0	80,8	93,0	81,3	92,5	77,5	92,2	86,5	89,0	80,2	94,5	81,2	92,1
2.10.	t	16,2	3,7	19,2	7,3	10,7	6,2	13,5	5,8	13,8	8,7	15,2	10,5	19,3	11,8	15,5	8,4
b. 8.10.	F	92,8	96,8	86,7	98,5	92,8	97,8	86,5	97,2	94,8	97,3	96,2	97,2	93,2	98,8	92,0	97,7

Mittelwert während der Versuchsdauer

Temperatur	Tag	17,59°C	Feuchtigkeit	Tag	87,06 %
	Nacht	8,68°C		Nacht	93,86 %

Aus den Thermohygrogrammen wurden alle zwei Stunden die Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit abgelesen und daraus die Mittelwerte während des Tages (8 - 18 Uhr) und während der Nacht (20 - 6 Uhr) errechnet.

Verlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationszeit bei Raps 1967

Tabelle 5 c Trockenpflanzen (Kasten 3)

Woche		Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Mittelwert	
		Täg	Nacht	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
11.9.	t ^{0C}	-	-	12,8	7,2	24,8	11,3	13,7	10,3	12,2	8,2	26,2	11,0	21,5	9,2	18,5	9,5
17.9.	F %	-	-	65,0	45,2	45,8	45,2	50,0	52,3	55,0	53,5	48,7	58,5	61,0	60,7	54,3	52,6
18.9.	t	22,8	10,7	17,2	8,2	19,7	7,8	10,8	7,3	15,3	7,2	26,2	6,0	25,3	8,2	19,6	7,9
24.9.	F	40,0	39,7	42,7	38,8	38,7	38,8	43,8	45,5	51,5	40,5	50,7	42,2	51,5	45,5	45,6	41,6
25.9.	t	25,8	13,2	25,5	14,2	27,3	12,2	23,7	11,3	22,7	13,0	18,3	6,5	22,2	6,2	23,6	10,9
1.10.	F	59,0	56,3	61,8	59,8	65,3	63,2	65,7	65,3	69,5	63,7	72,2	62,3	75,2	65,8	67,0	62,3
2.10.	t	16,2	7,0	20,0	5,7	10,7	4,3	13,0	3,7	15,3	7,5	16,5	9,8	21,7	11,3	16,2	7,0
8.10.	F	61,7	56,7	62,5	56,2	70,0	60,7	70,8	59,5	64,0	58,7	68,8	61,0	70,7	63,8	66,9	59,5

Mittelwert während der Versuchsdauer

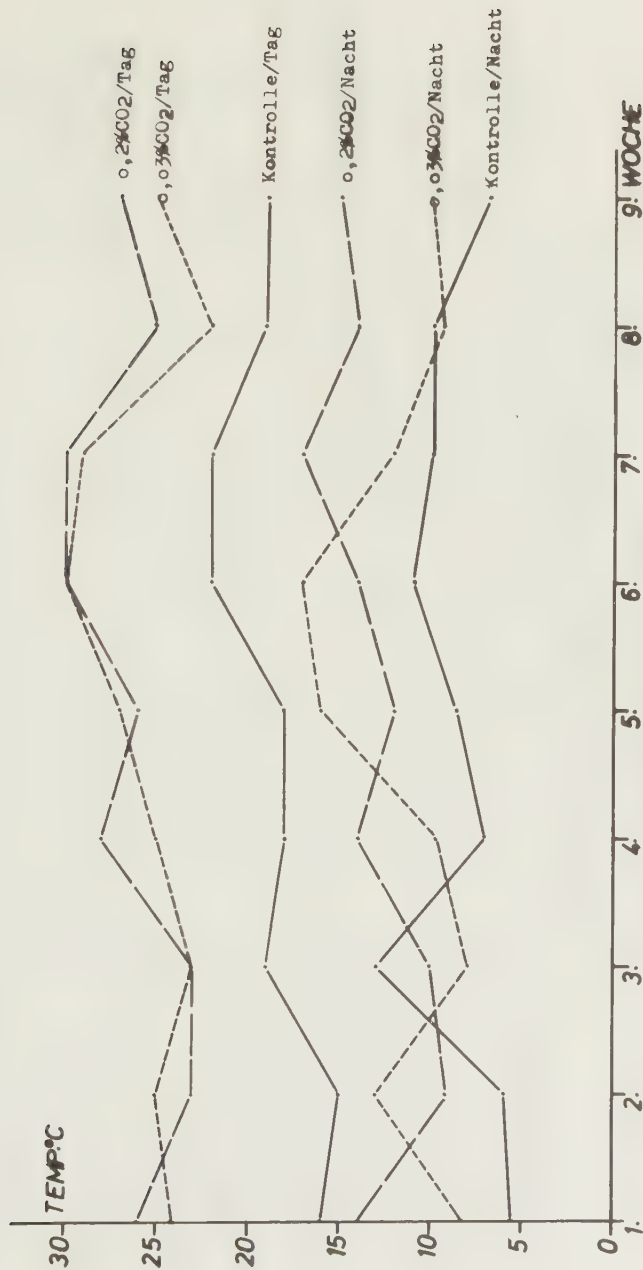
Temperatur	Tag 19,49 ^{0C}	Feuchtigkeit	Tag 59,28 %
"	Nacht 8,94 ^{0C}	"	Nacht 54,31 %

Aus den Thermogramm wurden alle zwei Stunden die Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit abgelesen und daraus die Mittelwerte während des Tages (8 - 18 Uhr) und während der Nacht (20 - 6 Uhr) errechnet.

HAFERVERSUCH 1968

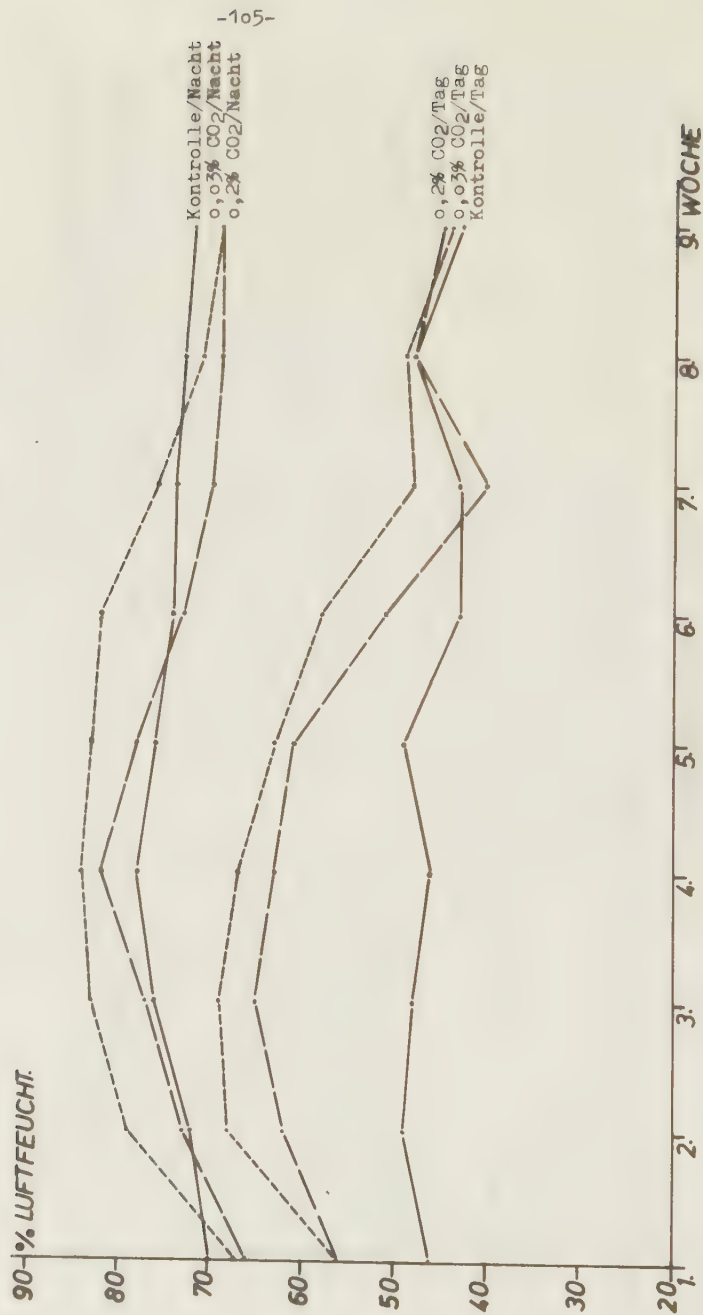
Abb. 22 a)

Mittlere Temperatur während des Versuchs



HAFERVERSUCH 1968

Mittlere relative Luftfeuchtigkeit während des Versuchs



Verlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationszeit bei Hafer 1968

Tabelle 6 a K o n t r o l l e (Halle)

Woche	Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Mittelwert	
	Tag	Nacht	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
27.5. t°C	-	-	24	8	19	5	16	4	15	2	13	7	10	7	16,0	5,5
b. 2.6. f %	-	-	46	74	44	71	41	65	30	64	41	64	72	83	46,0	70,0
3.6. t	14	4	19	10	14	9	16	5	15	7	13	2	14	4	15,0	5,9
b. 9.6. f	61	81	53	66	42	66	53	74	39	64	48	84	53	66	49,0	72,0
10.6. t	15	9	17	9	14	11	18	14	24	15	21	16	22	16	19,0	13,0
b. 16.6. f	42	68	39	63	49	76	52	77	41	82	63	85	53	79	48,0	76,0
17.6. t	18	7	21	7	24	10	16	5	14	7	14	3	19	10	18,0	7,0
b. 23.6. f	55	82	40	84	45	79	56	74	44	76	45	80	40	74	46,0	78,0
24.6. t	13	8	16	9	15	4	18	11	21	16	19	4	26	8	18,0	8,6
b. 30.6. f	49	64	61	78	53	85	48	79	48	56	44	87	37	82	49,0	76,0
1.7. t	28	10	28	11	13	8	17	11	26	13	19	12	21	10	22,0	11,0
b. 7.7. f	38	76	25	75	59	73	50	71	42	80	57	64	33	77	43,0	74,0
8.7. t	22	8	23	7	24	16	21	9	19	4	23	13	20	12	22,0	9,9
b. 14.7. f	43	71	43	84	46	79	48	60	35	77	37	67	52	73	43,0	74,0
15.7. t	21	10	21	11	19	6	20	9	16	9	17	11	20	13	19,0	9,9
b. 21.7. f	-	-	-	-	39	71	47	71	65	76	55	-	-	-	52,0	73,0
22.7. t	-	-	13	7	17	7	15	7	16	6	22	8	28	6	19,0	6,8
b. 28.7. f	-	-	64	83	43	69	43	67	46	73	33	69	29	73	43,0	72,0

Mittelwert während der Versuchsdauer

Temperatur	Tag 18,7°C		Feuchtigkeit		Tag 46,6 %	
	"	Nacht 8,6°C	"	"	Nacht 73,9 %	"

Aus den Thermohyogrammen wurden alle zwei Stunden die Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit abgelesen und daraus die Mittelwerte während des Tages (8 - 18 Uhr) und während der Nacht (20 - 6 Uhr) errechnet.

Verlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationszeit bei Hafer 1968

Tabelle 6 b

normale Luft (Kasten 1)

Woche		Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Mittelwert	
		Tag	Nacht	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
27.5.	t ⁰ C	-	-	26	10	28	9	20	7	28	6	27	9	15	-	24,0	8,2
b. 2.6.	f %	-	-	49	72	55	69	65	66	49	63	42	67	75	-	56,0	67,0
3.6.	t	23	12	29	15	28	14	24	12	26	14	23	11	19	12	25,0	13,0
b. 9.6.	f	70	83	65	79	60	80	72	79	64	72	71	84	74	74	68,0	79,0
10.6.	t	20	2	24	2	9	5	24	9	31	13	23	12	27	12	23,0	7,9
b. 16.6.	f	65	79	63	73	78	84	68	83	65	84	78	88	70	87	69,0	83,0
17.6.	t	22	9	33	10	27	13	20	10	22	8	23	7	29	11	25,0	9,7
b. 23.6.	f	73	86	64	84	68	84	71	78	63	84	64	84	63	83	67,0	84,0
24.6.	t	20	14	24	15	26	12	26	17	29	21	27	12	34	16	27,0	16,0
b. 30.6.	f	43	64	73	88	66	89	69	85	67	76	65	88	56	88	63,0	83,0
1.7.	t	34	16	38	17	18	15	26	16	34	19	28	17	31	16	30,0	17,0
b. 7.7.	f	61	86	45	80	70	78	61	81	55	85	67	80	49	82	58,0	82,0
8.7.	t	30	11	30	10	34	11	26	11	26	6	30	12	24	14	29,0	12,0
b. 14.7.	f	51	82	54	84	45	79	51	70	43	75	39	66	54	74	48,0	76,0
15.7.	t	21	9	22	9	27	8	25	12	17	9	16	9	21	10	22,0	9,4
b. 21.7.	f	55	81	46	69	38	68	43	68	61	74	56	68	46	71	49,0	71,0
22.7.	t	-	-	15	10	26	10	22	9	19	9	33	12	36	10	25,0	10,0
b. 28.7.	f	-	-	67	80	43	68	44	68	50	70	31	65	28	66	44,0	69,0

Mittelwert während der Versuchsdauer

Temperatur	Tag	25,6°C	Feuchtigkeit	Tag	58,0 %
	"	Nacht		11,5°C	Nacht

Aus den Thermohyogrammen wurden alle zwei Stunden die Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit abgelesen und daraus die Mittelwerte während des Tages (8 - 18 Uhr) und während der Nacht (20 - 6 Uhr) errechnet.

Verlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Vegetationszeit bei Hafer 1968

Tabelle 6 c

0,2 % CO₂ (Kasten 3)

Woche		Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Mittelwert	
		Tag	Nacht	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
27.5.	t°C	-	-	29	15	30	15	22	13	29	12	20	14	19	-	20,0	14,0
b. 2.6.	f %	-	-	-	67	55	68	59	66	49	62	44	69	72	-	56,0	66,0
3.6.	t	22	8	27	12	27	11	22	9	25	10	19	7	17	7	23,0	9,1
b. 5.6.	f	61	76	63	69	52	70	64	76	59	67	64	76	70	74	62,0	73,0
10.6.	t	20	6	24	6	11	7	23	12	31	14	22	12	27	14	23,0	10,0
b. 16.6.	f	55	72	55	69	72	80	66	79	63	75	74	85	67	79	65,0	77,0
1.6.	t	24	11	34	14	30	16	23	13	24	13	25	12	30	16	28,0	14,0
b. 23.6.	f	68	83	60	83	64	81	69	78	60	83	60	81	60	82	63,0	82,0
24.6.	t	19	10	22	13	24	8	23	14	28	18	28	7	35	13	26,0	12,0
b. 30.6.	f	57	72	65	77	62	82	62	79	62	72	61	84	55	81	61,0	78,0
1.7.	t	36	13	40	15	16	12	24	12	34	17	27	14	32	14	30,0	14,0
b. 7.7.	f	51	74	39	71	67	74	56	75	46	75	58	72	37	70	51,0	73,0
8.7.	t	31	16	32	15	34	21	28	16	28	13	31	17	28	18	30,0	17,0
b. 14.7.	f	35	70	39	77	38	75	46	65	35	67	34	64	51	71	40,0	70,0
15.7.	t	24	14	25	14	29	14	28	16	22	14	21	14	26	15	25,0	14,0
b. 21.7.	f	53	79	46	65	36	64	41	66	59	73	55	68	44	69	48,0	69,0
22.7.	t	-	-	20	15	27	15	24	14	22	14	33	16	37	15	27,0	15,0
b. 28.7.	f	-	-	65	82	47	67	45	67	50	70	33	63	28	62	45,0	69,0

Mittelwert während der Versuchsdauer

Temperatur	Tag 26,4°C	Feuchtigkeit	Tag 54,6 %
"	Nacht 13,2°C	"	Nacht 73,0 %

Aus den Thermohygrogrammen wurden alle zwei Stunden die Werte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit abgelesen und daraus die Mittelwerte während des Tages (8 - 18 Uhr) und während der Nacht (20 - 6 Uhr) errechnet.

Haferversuch 1967Tabelle 7Trockensubstanz-Erträge

g A.T.S./Gefäß

1. Ernte

Behandlung:	Kontrolle	Feucht	Trocken	F + CO ₂	T + CO ₂
Rispen	4,43	3,84	5,20	4,57	6,77
Blätter	8,44	7,83	8,28	7,62	9,34
Halme	14,63	13,90	14,60	13,75	20,43
Nachschosser	4,99	4,89	3,24	5,01	5,52
Gesamtertrag	32,49	30,46	31,33	30,95	42,09

2. Ernte

Rispen	15,60	10,56	14,07	12,97	22,89
Blätter	22,19	19,43	18,92	20,03	25,85
Halme	18,65	16,29	17,17	18,91	31,30
Nachschosser	2,23	5,00	2,54	4,67	3,19
Gesamtertrag	58,67	51,94	52,70	57,58	83,03

3. Ernte

Rispen	43,82	22,88	37,91	35,77	50,35
Blätter	23,62	26,00	14,90	28,75	21,06
Halme	23,64	29,48	18,37	30,97	35,17
Nachschosser	1,08	1,11	0,15	0,74	1,07
Gesamtertrag	92,16	79,47	71,42	105,23	117,65

4. Ernte

Rispen	64,71	19,75	40,27	39,85	66,07
Blätter	16,90	17,83	17,27	20,00	20,44
Halme	19,85	23,35	12,25	39,64	31,60
Nachschosser	1,70	43,19	10,43	30,12	-
Gesamtertrag	104,96	104,12	70,41	159,61 ^{xxx}	118,11 ^{xx}

Die angegebenen Werte entsprechen jeweils dem Mittelwert von zwei Parallel-Gefäßen.

xx = Differenz hoch signifikant gegenüber allen anderen Varianten.

xxx = Differenz sehr hoch signifikant gegenüber allen anderen Varianten.

Tabelle 8

Haferversuch 1967

Ertrag (g A.T.S./Gefäß) und Wasserverbrauch (g/Gefäß)

Versuchsdauer 62 Tage vom 30.5. bis 31.7.

V	IV	III	II	I	Variante	
T+CO ₂	F+CO ₂	Trocken	Feucht	Kontrolle	Behandlung	
40 42	36 36	35 30	35 35	33 38	Haupthalme Nachschoss.	1. Ernte 12.6.
24,71 (163,5%)	13,57 (89,8%)	14,00 (92,7%)	13,08 (86,6%)	15,11 (100%)	Ertrag	
3920 (89,7%)	1390 (31,8%)	4320 (98,9%)	1400 (32,0%)	4370 (100%)	Wasserverbr.	
159 (55,0%)	102 (35,3%)	309 (106,9%)	107 (37,0%)	289 (100%)	T Q	
12,5 (135,9%)	9,0 (97,8%)	8,8 (95,6%)	8,6 (93,5%)	9,2 (100%)	Wurzel	
53 42	57 49	38 30	49 53	45 19	Haupthalme Nachschoss.	2. Ernte 23.6.
65,65 (159,0%)	40,20 (97,4%)	35,32 (85,5%)	34,56 (83,7%)	41,29 (100%)	Ertrag	
8810 (84,9%)	3615 (34,8%)	9970 (96,1%)	3820 (36,8%)	10380 (100%)	Wasserverbr.	
134 (53,4%)	90 (35,9%)	282 (112,4%)	111 (44,2%)	251 (100%)	T Q	
15,6 (117,3%)	11,0 (82,7%)	9,7 (72,9%)	9,4 (70,7%)	13,3 (100%)	Wurzel	
63 12	101 7	41 2	85 7	48 0	Haupthalme Nachschoss.	3. Ernte 7.7.
96,27 (128,7%)	87,85 (117,5%)	59,04 (79,0%)	62,09 (83,0%)	74,78 (100%)	Ertrag	
16380 (84,6%)	8935 (46,2%)	19610 (101,3%)	9380 (48,5%)	19360 (100%)	Wasserverbr.	
170 (65,6%)	102 (39,4%)	332 (128,2%)	151 (58,3%)	259 (100%)	T Q	
14,2 (114,5%)	13,3 (107,3%)	9,2 (74,2%)	11,0 (88,7%)	12,4 (100%)	Wurzel	
63 0	87 77	37 43	68 83	42 5	Haupthalme Nachschoss.	4. Ernte 31.7.
41,00 (47,7%)	76,17 (88,8%)	27,21 (31,7%)	63,07 (73,4%)	25,88 (28,2%)	Stroh	
59,73 (69,6%)	42,11 (49,0%)	41,57 (48,4%)	23,67 (27,6%)	61,70 (71,8%)	Korn	
20770 (76,7%)	16190 (59,8%)	30990 (114,4%)	18190 (67,0%)	27090 (100%)	Wasserverbr.	
206 (66,7%)	137 (44,3%)	450 (145,6%)	210 (67,9%)	309 (100%)	T Q	
348 (79,3%)	384 (87,5%)	745 (169,7%)	768 (174,9%)	439 (100%)	T Q Korn	
12,0 (122,4%)	14,5 (148,0%)	11,6 (118,4%)	12,9 (131,6%)	9,8 (100%)	Wurzel	

Der Ausgangsertrag (= Ertrag des Blindgefäßes, 17,38 g A.T.S.) wurde bei jeder Ernte vom Gesamtertrag abgezogen, so daß die angegebenen Werte den Ertragszuwachs während der Versuchsdauer darstellen.

Tabelle 2

H a f e r v e r s u c h 1 9 6 7

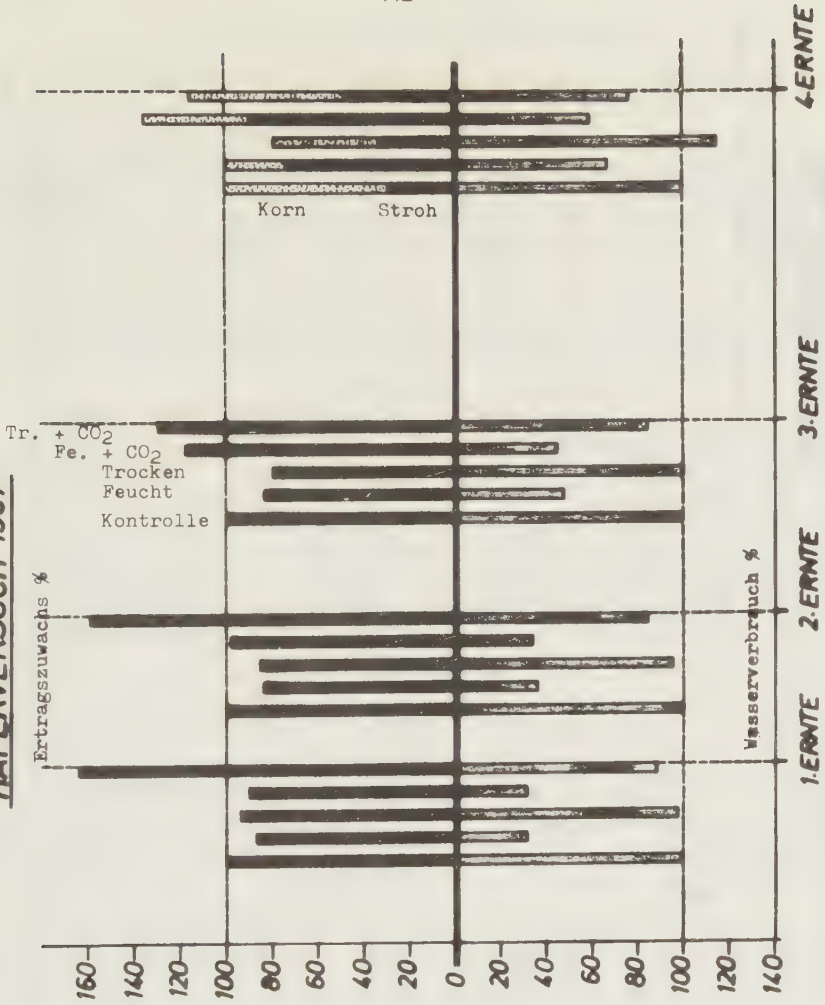
Wasserverbrauch während der Vegetationszeit (π /Gefäß)

Variations- anleihe	1. Woche 21.5.-4.6.5	2. Woche 5.-11.6.	3. Woche 12.-18.6.	4. Woche 19.-25.6.	5. Woche 26.6.-2.7.	6. Woche 3.-9.7.	7. Woche 10.-16.7.	8. Woche 17.-23.7.	9. Woche 24.-31.7.	Gesamt Wasserverbr.
I Kontr.	1380	2760	2850	4825	4575	4870	3950	1490	370	27090
II Feucht	560	790	1130	2210	2660	2430	3310	2410	2670	18190
III Trocken	1420	2700	2980	4920	4740	4260	3690	3000	3250	30990
IV P + J ₂	340	760	1070	2300	2580	2210	2830	2130	1770	16190
V T + J ₂	1260	2430	2520	4120	3950	2790	2050	980	670	20770

Die angegebenen Werte entsprechen jeweils der Transpiration/Gefäß (= Evapotranspiration - Evaporation des Blindgefäßes).

HAFERVERSUCH 1967

Abb. 28



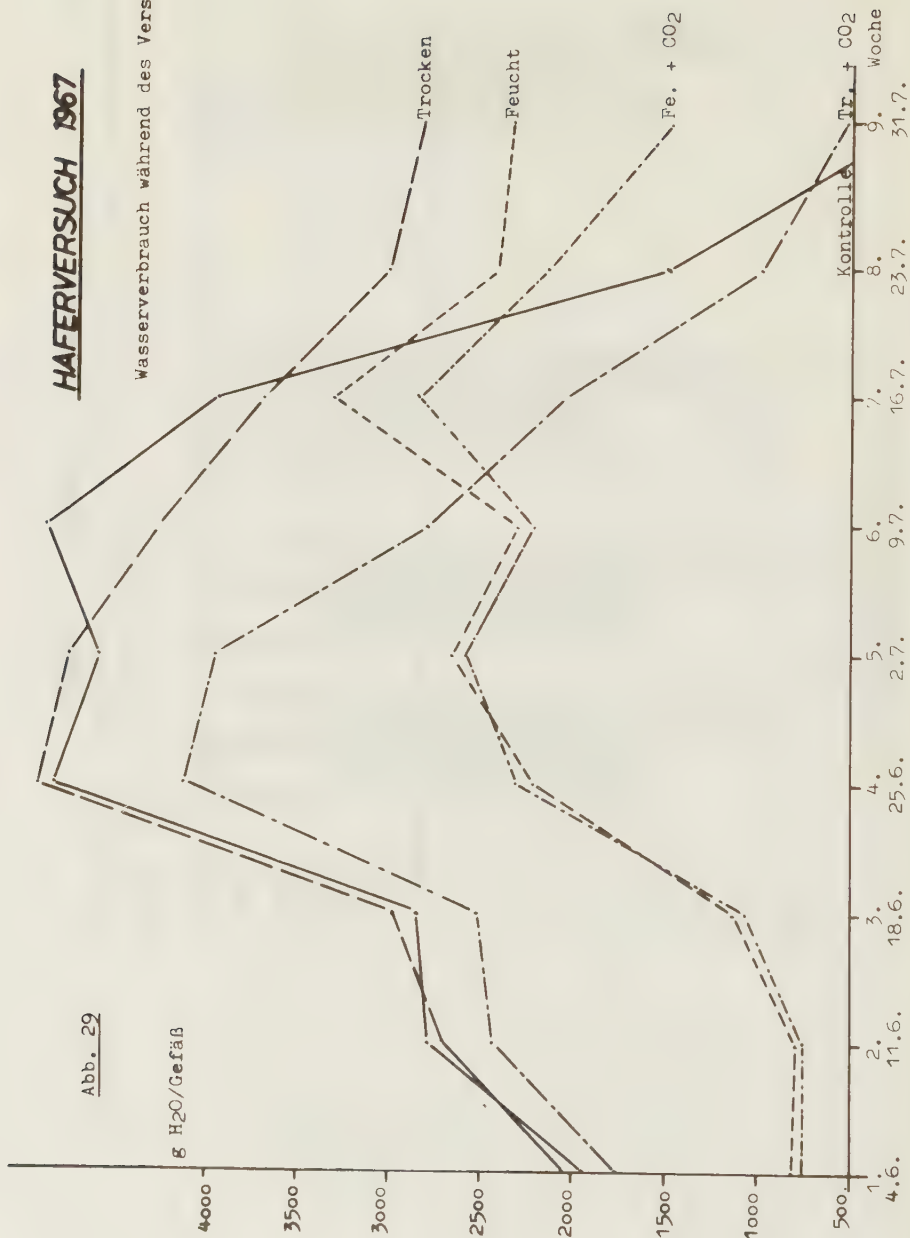
HAFERVERSUCH 1967

Wasserverbrauch während des Versuchs

Abb. 29

g H₂O/Gefäß

-113-



Haferversuch 1967Tabelle 10N - Gehalt (mg/g L.T.S.)1. Ernte

Behandlung	Kontrolle	Feucht	Trocken	Fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
Rispen	25,4	24,0	24,2	23,0	23,2
1.u.2.Bl.	43,6	45,9	48,9	43,1	40,1
3.u.4.Bl.	32,2	30,2	32,8	31,0	23,9
5.u.6.Bl.	21,9	24,2	24,2	22,6	16,3
Halme	12,0	17,2	15,5	15,6	12,0
Nachschosser	23,5	25,6	26,8	26,0	21,1
Gesamtpfl.	21,6	24,0	24,0	23,0	18,7

2. Ernte

Rispen	17,4	21,1	18,9	18,6	17,2
1.u.2.Bl.	28,4	28,6	30,0	23,1	18,4
3.u.4.Bl.	23,3	22,3	24,2	17,6	12,1
5.u.6.Bl.	17,9	16,3	19,7	11,8	7,2
1.u.2.Int.	10,4	14,8	14,4	8,3	7,2
3.u.4.Int.	6,9	11,6	11,2	7,2	4,8
5.u.6.Int.	4,1	10,5	8,4	6,7	3,9
Nachschosser	19,7	23,7	20,9	18,1	12,7
Gesamtpfl.	17,8	20,2	19,7	15,1	12,3

3. Ernte

Rispen	18,3	17,9	22,3	17,7	16,3
1.u.2.Bl.	14,4	16,1	13,5	13,7	6,3
3.u.4.Bl.	10,4	10,2	11,6	7,4	4,1
5.u.6.Bl.	5,5	10,5	6,3	6,3	4,6
1.u.2.Int.	3,5	9,9	4,1	6,0	1,1
3.u.4.Int.	1,8	7,5	4,6	4,1	1,3
5.u.6.Int.	1,8	8,8	3,7	5,1	1,8
Gesamtpfl.	12,6	13,1	15,1	11,2	9,6

4. Ernte

Risp.)Korn	19,8	17,9	26,1	17,6	18,8
Spreu	6,0	6,2	6,0	6,2	7,0
1.u.2.Bl.	3,5	6,0	4,9	3,5	4,8
3.u.4.Bl.	5,1	6,0	5,6	3,7	4,4
5.u.6.Bl.	6,2	6,5	5,5	5,1	4,6
1.u.2.Int.	1,3	2,9	2,7	1,8	1,6
3.u.4.Int.	0,9	4,2	2,5	2,0	1,4
5.u.6.Int.	0,9	3,5	2,7	2,1	1,1
Nachschosser					
Korn	-	18,8	17,9	17,2	-
Spreu	-	20,5	20,0	18,6	-
Blätter	-	21,4	17,2	13,9	-
Stengel	-	12,5	8,8	8,3	-
Gesamtpfl.	13,1	11,2	15,3	9,2	11,1

-11-
Haferversuch 1907

Tabelle 11

P - Gehalt (mg/g L.T....)

1. Ernte

Behandlung	Kontrolle	Feucht	Trocken	Fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
Rispen	4,71	4,56	4,30	4,06	4,06
1.u.2.Bl.	3,25	3,1	4,14	3,45	3,37
3.u.4.Bl.	3,10	3,34	4,35	3,01	2,72
5.u.6.Bl.	2,66	2,71	4,15	2,1	2,1
Halme	2,4	4,2		4,1	3,63
Nachschosser		4,7	4,49	4,4	3,78
Gesamtpfl.	3,51	4,25	4,37	3,13	3,55

2. Ernte

Rispen	2,90	3,01	3,30	2,71	2,35
1.u.2.Bl.	2,46	3,26	3,03	2,60	1,90
3.u.4.Bl.	2,31	2,80	3,15	2,4	1,57
5.u.6.Bl.	1,96	2,02	2,66	2,03	1,33
1.u.2.Int.	3,01	3,79	3,55	3,21	2,67
3.u.4.Int.	2,84	3,86	3,57	3,42	2,56
5.u.6.Int.	2,71	3,90	3,47	3,60	2,34
Nachschosser	2,67	4,31	2,75	3,29	2,21
Gesamtpfl.	2,69	3,39	3,25	2,96	2,31

3. Ernte

Rispen	3,16	3,54	3,29	2,86	2,84
1.u.2.Bl.	1,25	2,20	0,98	1,64	0,74
3.u.4.Bl.	0,89	2,01	1,32	1,38	0,71
5.u.6.Bl.	0,87	1,73	1,59	1,14	1,02
1.u.2.Int.	0,92	2,86	0,52	2,10	0,85
3.u.4.Int.	0,88	2,40	1,25	1,41	0,49
5.u.6.Int.	0,90	1,92	1,53	1,03	0,46
Gesamtpfl.	2,04	2,73	2,16	2,12	1,79

4. Ernte

Risp.)Korn	3,06	3,17	4,08	2,83	3,70
)Spreu	1,26	2,42	2,39	2,61	2,40
1.u.2.Bl.	0,23	1,21	0,66	0,62	0,48
3.u.4.Bl.	0,34	1,31	1,35	1,12	0,58
5.u.6.Bl.	1,31	0,98	1,28	1,17	1,13
1.u.2.Int.	0,27	0,81	0,28	0,77	0,34
3.u.4.Int.	0,25	0,93	0,52	0,71	0,24
5.u.6.Int.	0,21	0,83	0,60	0,61	0,27
Nachschosser					
Korn	-	3,53	3,43	3,27	-
Spreu	-	3,20	3,60	3,23	-
Blätter	-	3,79	3,85	2,66	-
Stengel	-	3,58	3,78	3,25	-
Gesamtpfl.	2,01	2,43	2,63	2,00	2,19

H a f e r v e r s u c h 1 9 6 7

Tabelle 12

K - Gehalt (mg/g L.T.S.)

1. E r n t e

Behandlung	Kontrolle	Feucht	Trocken	Fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
Rispen	18,5	16,5	15,0	15,0	15,0
1.u.2.Bl.	30,0	22,0	29,0	20,5	24,0
3.u.4.Bl.	34,5	31,0	35,0	29,0	23,5
5.u.6.Bl.	35,0	34,5	37,0	31,5	24,5
Halme	42,5	52,5	47,0	46,5	39,5
Nachschosser	39,5	45,0	44,0	41,0	34,5
Gesamtpfl.	36,2	40,5	37,7	36,0	31,4

2. E r n t e

Rispen	10,0	8,5	7,0	8,5	7,0
1.u.2.Bl.	27,5	28,5	30,0	23,5	20,0
3.u.4.Bl.	32,0	31,5	33,0	26,5	19,0
5.u.6.Bl.	30,0	29,5	31,0	26,5	23,0
1.u.2.Int.	28,0	30,0	30,5	24,0	24,5
3.u.4.Int.	35,5	47,0	46,0	38,0	26,0
5.u.6.Int.	38,5	57,0	49,0	48,0	30,0
Nachschosser	31,0	31,0	32,0	28,5	22,0
Gesamtpfl.	24,9	28,5	27,1	23,9	18,5

3. E r n t e

Rispen	7,0	8,0	6,5	7,0	4,5
1.u.2.Bl.	23,5	18,5	23,5	17,5	17,0
3.u.4.Bl.	22,0	18,5	22,0	17,0	19,0
5.u.6.Bl.	25,0	24,0	29,5	20,5	24,0
1.u.2.Int.	32,5	25,0	41,0	19,0	29,0
3.u.4.Int.	22,5	28,0	40,0	21,0	23,5
5.u.6.Int.	24,0	42,0	37,0	31,0	20,0
Gesamtpfl.	16,7	18,8	19,3	15,0	14,0

4. E r n t e

Risp.)Korn	6,5	4,0	4,0	4,5	4,0
Sprenu	28,5	4,0	7,0	4,5	30,5
1.u.2.Bl.	23,0	7,0	14,5	12,0	18,5
3.u.4.Bl.	19,0	12,0	16,0	14,5	18,5
5.u.6.Bl.	22,5	19,0	25,5	20,0	20,5
1.u.2.Int.	47,0	19,0	41,5	15,5	25,0
3.u.4.Int.	29,5	35,5	44,5	22,5	28,5
5.u.6.Int.	17,0	41,0	34,0	31,0	23,0
Nachschosser					
Korn	-	6,5	8,5	5,5	-
Sprenu	-	7,0	13,0	9,0	-
Blätter	-	20,0	14,0	19,5	-
Stengel	-	25,0	26,5	21,5	-
Gesamtpfl.	15,8	15,7	16,5	12,9	15,9

Haferversuch 1967Tabelle 13Ca - Gehalt (mg/g L.T.S.)1. Ernte

Behandlung	Kontrolle	Feucht	Trocken	Fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
Rispen	0,60	0,78	0,73	0,63	0,58
1.u.2.Bl.	3,60	2,60	3,95	2,25	4,40
3.u.4.Bl.	5,95	5,10	6,15	5,20	5,90
5.u.6.Bl.	12,00	12,60	14,40	12,30	13,00
Halme	1,88	2,28	2,35	1,90	1,65
Nachschosser	5,20	4,95	6,00	4,37	4,55
Gesamtpfl.	3,30	3,35	3,65	2,94	2,96

2. Ernte

Rispen	0,93	1,10	1,00	1,00	1,40
1.u.2.Bl.	4,20	4,00	4,20	3,10	4,10
3.u.4.Bl.	5,75	5,75	5,23	5,30	5,00
5.u.6.Bl.	11,60	12,80	11,05	12,15	11,00
1.u.2.Int.	1,38	1,80	1,88	1,30	1,20
3.u.4.Int.	0,70	1,30	1,10	1,00	0,90
5.u.6.Int.	0,65	0,95	0,90	0,95	0,65
Nachschosser	4,20	2,28	6,60	2,05	4,30
Gesamtpfl.	2,85	3,15	3,26	2,59	2,54

3. Ernte

Rispen	1,25	1,10	1,50	1,00	1,30
1.u.2.Bl.	5,95	3,48	2,00	3,35	6,10
3.u.4.Bl.	6,65	4,90	2,90	5,05	7,30
5.u.6.Bl.	11,75	10,95	12,45	12,95	12,20
1.u.2.Int.	1,40	1,38	3,20	1,25	1,30
3.u.4.Int.	0,70	1,10	1,35	0,90	0,70
5.u.6.Int.	0,65	0,96	1,10	0,95	0,00
Gesamtpfl.	2,67	2,39	3,09	2,12	2,42

4. Ernte

Risp.) Korn	0,00	1,15	0,75	0,95	0,80
Spreu	6,55	3,75	8,45	4,00	7,50
1.u.2.Bl.	10,30	8,10	10,13	7,00	7,45
3.u.4.Bl.	10,05	8,00	9,98	9,40	9,30
5.u.6.Bl.	13,25	12,55	11,40	11,00	11,05
1.u.2.Int.	1,40	2,70	3,10	1,25	1,20
3.u.4.Int.	0,70	1,90	1,75	1,10	0,00
5.u.6.Int.	0,64	1,15	0,90	0,95	0,00
Nachschosser					
Korn	-	1,0	1,15	1,10	-
Spreu	-	2,1	2,10	1,95	-
Blätter	-	1,0	3,00	3,30	-
Stengel	-	1,1	1,00	0,35	-
Gesamtpfl.	2,77	3,00	3,20	2,45	2,50

Haferversuch 1967Tabelle 14

Mg - Gehalt (mg/g L.T.S.)

1. Ernte

Behandlung	Kontrolle	Feucht	Trocken	Fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
Rispen	1,35	1,33	1,26	1,17	1,20
1.u.2.Bl.	2,03	1,59	2,12	1,34	1,95
3.u.4.Bl.	2,15	1,90	2,42	2,02	1,92
5.u.6.Bl.	4,40	4,30	4,77	4,47	4,27
Halme	1,47	1,42	1,73	1,45	1,22
Nachschosser	2,30	2,53	3,30	2,22	2,13
Gesamtpfl.	1,83	1,79	2,07	1,71	1,59

2. Ernte

Rispen	1,01	1,29	1,40	1,23	1,20
1.u.2.Bl.	1,90	1,65	2,05	1,26	1,36
3.u.4.Bl.	2,28	2,15	2,34	1,95	1,97
5.u.6.Bl.	4,10	4,09	4,45	3,95	4,25
1.u.2.Int.	2,17	1,52	2,15	1,31	1,30
3.u.4.Int.	0,95	1,08	1,15	0,81	1,00
5.u.6.Int.	0,75	0,93	1,00	0,75	0,78
Nachschosser	2,47	1,49	3,26	1,42	1,82
Gesamtpfl.	1,73	1,70	1,98	1,42	1,41

3. Ernte

Rispen	1,70	2,50	1,80	1,75	1,64
1.u.2.Bl.	2,15	1,56	2,00	1,17	1,60
3.u.4.Bl.	2,45	2,12	2,33	1,97	2,33
5.u.6.Bl.	4,14	4,22	4,73	4,45	4,16
1.u.2.Int.	1,22	1,55	1,25	1,15	0,97
3.u.4.Int.	0,80	0,96	0,64	0,60	0,46
5.u.6.Int.	0,70	0,76	0,63	0,50	0,47
Gesamtpfl.	1,03	1,89	1,82	1,42	1,45

4. Ernte

Risp. Korn	1,52	1,65	1,46	1,53	1,45
Risp. Spreu	3,92	2,51	4,48	2,75	4,20
1.u.2.Bl.	2,84	2,91	3,13	1,80	1,91
3.u.4.Bl.	3,35	3,19	3,80	2,88	2,70
5.u.6.Bl.	4,75	4,49	4,70	4,20	3,98
1.u.2.Int.	0,63	1,79	1,09	0,94	0,43
3.u.4.Int.	0,30	0,86	0,69	0,45	0,30
5.u.6.Int.	0,27	0,48	0,42	0,36	0,28
Nachschosser					
Korn	-	1,50	1,35	1,37	-
Spreu	-	1,60	1,53	1,48	-
Blätter	-	1,24	1,63	1,64	-
Stengel	-	1,00	0,96	0,86	-
Gesamtpfl.	1,73	1,73	1,89	1,39	1,50

Haferversuch 1967

Tabelle 15

N - Aufnahme (mg/Pflanze)

1. Ernte

Behandlung	Kontrolle	feucht	Trocken	fe. + CO ₂	fr. + CO ₂
Rispen	5,26	4,32	5,89	4,92	7,37
1.u.2.Bl.	6,98	6,24	7,58	5,78	6,67
3.u.4.Bl.	5,44	7,01	5,59	5,12	4,69
5.u.6.Bl.	1,49	1,28	1,53	1,33	1,26
Halme	8,23	11,16	10,4	10,03	11,49
Nachschosser	5,21	5,06	4,09	3,09	3,52
Gesamt	32,91	34,17	35,32	33,27	37,00

2. Ernte

Rispen	12,70	10,43	12,45	11,31	18,39
1.u.2.Bl.	16,45	12,74	12,91	10,86	12,91
3.u.4.Bl.	7,91	7,48	7,59	6,00	4,86
5.u.6.Bl.	2,12	2,06	2,74	1,58	0,79
1.u.2.Int.	4,85	5,54	6,02	3,82	5,86
3.u.4.Int.	2,47	3,85	3,03	2,90	2,68
5.u.6.Int.	0,17	0,52	0,48	0,45	0,27
Nachschosser	2,05	6,26	2,50	3,97	1,90
Gesamt	48,72	48,88	48,35	40,89	47,66

3. Ernte

Rispen	38,06	19,33	39,39	29,83	43,50
1.u.2.Bl.	8,84	11,24	0,03	11,66	3,84
3.u.4.Bl.	3,72	3,90	3,80	2,70	1,10
5.u.6.Bl.	0,78	1,53	1,05	0,81	0,54
1.u.2.Int.	2,15	7,70	1,84	6,43	1,07
3.u.4.Int.	0,79	4,04	1,59	2,94	0,81
5.u.6.Int.	0,12	0,49	0,19	0,40	0,11
Gesamt	54,46	48,29	53,94	54,77	50,97

4. Ernte

Rispen	59,21	13,50	49,08	29,70	55,10
1.u.2.Bl.	1,55	2,66	1,69	2,04	2,51
3.u.4.Bl.	1,29	1,69	1,52	1,00	1,14
5.u.6.Bl.	1,24	0,80	1,11	0,48	0,85
1.u.2.Int.	0,66	1,77	1,23	1,94	1,38
3.u.4.Int.	0,31	1,78	0,84	1,34	0,75
5.u.6.Int.	0,07	0,24	0,17	0,22	0,09
Nachschosser	-	32,80	7,19	21,82	-
Gesamt	64,33	55,22	62,83	70,54	61,90

Die angegebenen Werte sind jeweils der Nitzug pro Gefäß, dividiert durch die Pflanzenzahl (22).

Haferversuch 1967Tabelle 16P - Aufnahme (mg/Pflanze)1. Ernte

Behandlung	Kontrolle	Feucht	Trocken	Fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
Rispen	0,98	0,82	1,05	0,86	1,29
1.u.2.Bl.	0,53	0,54	0,70	0,46	0,56
3.u.4.Bl.	0,52	0,55	0,74	0,50	0,53
5.u.6.Bl.	0,18	0,18	0,26	0,14	0,18
Halme	2,38	2,85	2,99	2,70	3,48
Nachschossen	0,82	1,10	0,69	1,04	0,99
Gesamt	5,41	6,04	6,43	5,70	7,03

2. Ernte

Rispen	2,12	1,50	2,17	1,65	2,73
1.u.2.Bl.	1,42	1,45	1,30	1,25	1,33
3.u.4.Bl.	0,78	0,97	0,99	0,84	0,63
5.u.6.Bl.	0,23	0,26	0,37	0,27	0,17
1.u.2.Int.	1,40	1,42	1,49	1,48	2,18
3.u.4.Int.	1,02	1,28	1,16	1,40	1,43
5.u.6.Int.	0,11	0,10	0,20	0,24	0,16
Nachschossen	0,26	1,14	0,35	0,66	0,33
Gesamt	7,36	8,21	8,01	8,01	8,94

3. Ernte

Rispen	0,57	3,37	7,79	4,82	7,70
1.u.2.Bl.	0,77	1,74	0,44	1,40	0,45
3.u.4.Bl.	0,22	0,77	0,45	0,69	0,19
5.u.6.Bl.	0,12	0,20	0,27	0,17	0,12
1.u.2.Int.	0,70	2,24	0,24	2,25	0,83
3.u.4.Int.	0,30	1,20	0,43	1,01	0,31
5.u.6.Int.	0,06	0,11	0,03	0,00	0,03
Gesamt	3,76	10,02	7,70	10,40	9,51

4. Ernte

Rispen	0,0	2,7	7,7	7,20	11,10
1.u.2.Bl.	0,10	0,54	0,23	0,30	0,20
3.u.4.Bl.	0,00	0,37	0,37	0,30	0,10
5.u.6.Bl.	0,20	0,12	0,20	0,11	0,07
1.u.2.Int.	0,14	0,40	0,13	0,33	0,24
3.u.4.Int.	0,09	0,42	0,17	0,40	0,13
5.u.6.Int.	0,02	0,00	0,04	0,00	0,02
Nachschossen	-	7,10	1,07	7,30	-
Gesamt	0,90	11,93	10,54	12,73	12,21

Die angegebenen Werte sind jeweils der Entzug pro Gefäß, dividiert durch die Pflanzenzahl (22).

Haferversuch 1967

Tabelle 17

K - Aufnahme (mg/Pflanze)

1. Ernte

Behandlung	Kontrolle	Feucht	Trocken	Fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
Rispen	3,83	2,97	3,65	3,21	4,77
1.u.2.Bl.	4,80	2,99	4,50	2,75	3,99
3.u.4.Bl.	5,83	5,14	5,97	4,79	4,61
5.u.6.Bl.	2,39	2,26	2,34	1,85	1,89
Halme	29,13	34,05	32,26	29,91	37,83
Nachschosser	9,26	10,31	6,72	5,60	9,02
Gesamt	55,24	57,72	55,44	52,11	62,11

2. Ernte

Rispen	7,30	4,20	4,61	5,17	7,48
1.u.2.Bl.	15,93	12,70	12,91	11,05	14,03
3.u.4.Bl.	10,87	10,57	10,35	9,03	7,63
5.u.6.Bl.	3,56	3,73	4,31	3,54	2,53
1.u.2.Int.	13,06	11,24	12,81	11,01	15,26
3.u.4.Int.	12,73	15,62	15,07	15,32	14,24
5.u.6.Int.	1,58	2,80	2,78	3,23	2,09
Nachschosser	3,23	8,19	3,83	7,26	3,29
Gesamt	68,26	69,05	67,67	74,37	71,22

3. Ernte

Rispen	14,56	13,14	11,40	11,80	12,01
1.u.2.Bl.	14,43	12,92	10,48	14,89	10,56
3.u.4.Bl.	7,87	7,07	7,20	6,20	7,08
5.u.6.Bl.	3,55	3,49	4,92	2,65	2,79
1.u.2.Int.	19,93	19,59	18,92	20,36	28,29
3.u.4.Int.	9,83	15,08	13,82	17,03	14,62
5.u.6.Int.	1,61	2,33	1,87	2,45	1,19
Gesamt	71,78	69,12	68,70	73,36	74,34

4. Ernte

Rispen	23,00	3,75	7,92	8,51	20,48
1.u.2.Bl.	10,20	3,10	5,00	7,01	9,67
3.u.4.Bl.	4,81	3,38	4,34	3,77	4,81
5.u.6.Bl.	4,50	2,32	5,14	1,89	3,80
1.u.2.Int.	23,82	11,47	18,86	16,69	21,53
3.u.4.Int.	10,06	14,86	14,89	15,07	15,29
5.u.6.Int.	1,35	2,81	2,18	3,24	1,79
Nachschosser	-	35,23	8,39	26,26	-
Gesamt	77,74	76,92	66,72	62,44	77,37

Die angegebenen Werte sind jeweils der Entzug pro Gefäß, dividiert durch die Pflanzenzahl (22).

Haferversuch 1967Tabelle 18Ca - Aufnahme (mg/Pflanze)1. Ernte

Behandlung	Kontrolle	Feucht	Trocken	fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
Rispen	0,12	0,14	0,18	0,14	0,18
1.u.2.Bl.	0,58	0,35	0,61	0,30	0,73
3.u.4.Bl.	1,01	0,85	1,05	0,80	1,16
5.u.6.Bl.	0,82	0,82	0,91	0,72	1,00
Halme	1,29	1,48	1,61	1,22	1,58
Nachschosser	1,22	1,13	1,01	1,02	1,19
Gesamt	5,04	4,77	5,37	4,26	5,84

2. Ernte

Rispen	0,58	0,54	1,05	0,61	1,50
1.u.2.Bl.	2,43	1,75	1,81	1,46	2,88
3.u.4.Bl.	1,95	1,93	1,64	1,81	2,00
5.u.6.Bl.	1,30	1,62	1,54	1,62	1,28
1.u.2.Int.	0,04	0,07	0,79	0,60	0,98
3.u.4.Int.	0,45	0,43	0,36	0,40	0,50
5.u.6.Int.	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05
Nachschosser	0,44	0,60	0,79	0,45	0,64
Gesamt	7,50	7,02	8,03	7,01	9,83

3. Ernte

Rispen	2,60	1,19	2,65	1,69	4,00
1.u.2.Bl.	3,65	2,43	3,48	2,85	3,72
3.u.4.Bl.	2,38	1,87	2,59	2,17	2,00
5.u.6.Bl.	1,67	1,59	2,08	1,66	1,42
1.u.2.Int.	0,30	1,08	1,48	1,32	1,27
3.u.4.Int.	0,31	0,59	0,47	0,64	0,44
5.u.6.Int.	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04
Gesamt	11,51	8,80	12,81	10,41	12,89

4. Ernte

Rispen	2,80	1,81	1,96	2,76	4,52
1.u.2.Bl.	4,57	3,59	3,50	4,09	3,89
3.u.4.Bl.	2,54	2,48	2,71	2,53	2,42
5.u.6.Bl.	2,65	1,53	2,30	1,12	2,05
1.u.2.Int.	0,71	1,63	1,41	1,67	1,03
3.u.4.Int.	0,27	0,81	0,59	0,74	0,43
5.u.6.Int.	0,05	0,08	0,06	0,10	0,06
Nachschosser	-	2,80	0,82	2,53	-
Gesamt	13,59	14,73	13,35	15,54	14,40

Die angegebenen Werte sind jeweils der Entzug pro Gefäß, dividiert durch die Pflanzenzahl (22).

Haferversuch 1967Tabelle 19Mg - Aufnahme (mg/Pflanze1. Ernte

Behandlung	Kontrolle	Feucht	Trocken	re. + CO ₂	Tr. + CO ₂
Rispen	0,28	0,24	0,31	0,25	0,38
1.u.2.Bl.	0,33	0,22	0,33	0,18	0,32
3.u.4.Bl.	0,36	0,32	0,41	0,32	0,38
5.u.6.Bl.	0,30	0,28	0,30	0,26	0,33
Halme	0,98	0,92	1,19	0,93	1,17
Nachschosser	0,54	0,58	0,50	0,52	0,56
Gesamt	2,79	2,56	3,04	2,47	3,14

2. Ernte

Rispen	0,74	0,64	0,92	0,75	1,28
1.u.2.Bl.	1,10	0,74	0,88	0,59	0,97
3.u.4.Bl.	0,77	0,72	0,73	0,67	0,79
5.u.6.Bl.	0,49	0,52	0,62	0,53	0,47
1.u.2.Int.	1,01	0,72	0,90	0,60	1,06
3.u.4.Int.	0,34	0,35	0,37	0,33	0,56
5.u.6.Int.	0,03	0,05	0,06	0,05	0,07
Nachschosser	0,25	0,39	0,39	0,31	0,27
Gesamt	4,73	4,14	4,87	3,53	5,45

3. Ernte

Rispen	3,12	2,70	3,18	2,95	4,38
1.u.2.Bl.	1,32	1,09	0,93	1,00	0,98
3.u.4.Bl.	0,88	0,81	0,76	0,72	0,62
5.u.6.Bl.	0,59	0,61	0,79	0,57	0,48
1.u.2.Int.	0,75	1,21	0,58	1,23	0,95
3.u.4.Int.	0,35	0,52	0,22	0,43	0,29
5.u.6.Int.	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03
Gesamt	7,04	6,98	6,49	6,94	7,73

4. Ernte

Rispen	5,01	1,78	3,02	3,28	5,36
1.u.2.Bl.	1,26	1,29	1,08	1,05	1,00
3.u.4.Bl.	0,85	0,90	1,03	0,78	0,70
5.u.6.Bl.	0,95	0,55	0,95	0,40	0,74
1.u.2.Int.	0,32	1,00	0,50	1,01	0,37
3.u.4.Int.	0,10	0,37	0,23	0,30	0,16
5.u.6.Int.	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02
Nachschosser	-	2,50	0,64	2,06	-
Gesamt	8,51	8,50	7,48	8,92	8,35

Die angegebenen Werte sind jeweils der Entzug pro Gefäß, dividiert durch die Pflanzenzahl (22).

Tabelle 20

Ertragsvergleich

Ertragsvergleich - Erträge

E A. T. S. / Gefäß

Ertragsvergleich:	Kontrolle	Ertrag	Ertrag	Ertrag	Ertrag
1. Ertrag	17,19	17,72	17,72	17,72	17,72
2. Ertrag	17,07	17,07	17,07	17,07	17,07
3. Ertrag	14,24	15,27	15,27	15,27	15,27
4. Ertrag	13,07	13,11	13,11	13,11	13,11
5. Ertrag	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Gesamtertrag	76,03	76,03	76,03	76,03	76,03

Die angegebenen Werte entsprechen jeweils dem Mittelwert von vier Parallel-Gefäßen.

xxx = Differenz sehr hoch signifikant gegenüber allen anderen Varianten.

Rapser Versuch 1967

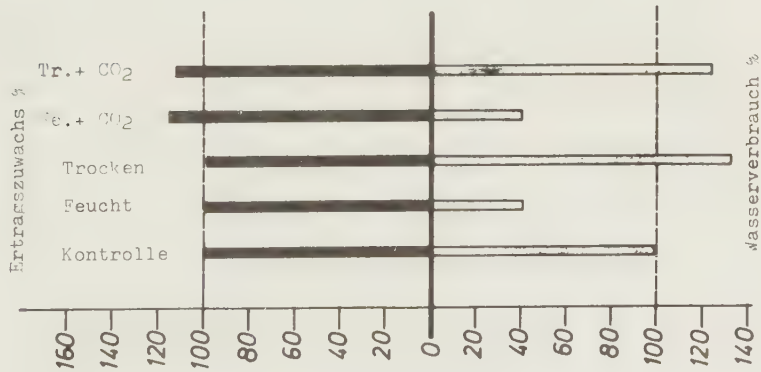
Tabelle 24

Ertrag (g A.T.S./Gefäß) und Wasserverbrauch (g/Gefäß)
Versuchsdauer 28 Tage vom 12.9. bis 10.10.

Variante	Behälterinhalt	Ertrag		Wasserverbrauch	T °C	Wurzel
		Blatt	Stängel			
I	Unverleitet	40,40 (61,9%)	28,63 (38,1%) 73,06 (100%)	7810 (100%)	104 (100%)	6,1 (100%)
-	Leitet	43,54 (60,7%)	28,79 (38,4%) 74,36 (100%)	3255 (41,7%)	44 (42,3%)	3,9 (63,9%)
III	Verleitet	45,11 (61,2%)	27,00 (36,8%) 73,34 (100%)	1043 (13,6%)	142 (13,5%)	4,1 (50,3%)
IV	" + "	24,11 (60,2%)	27,10 (40,9%) 38,20 (115,1%)	3170 (40,0%)	51 (55,6%)	0,1 (100%)
I	" + "	2,01 (69,4%)	31,54 (42,0%) 53,64 (111,4%)	2770 (125,1%)	117 (112,5%)	1,1 (110,4%)

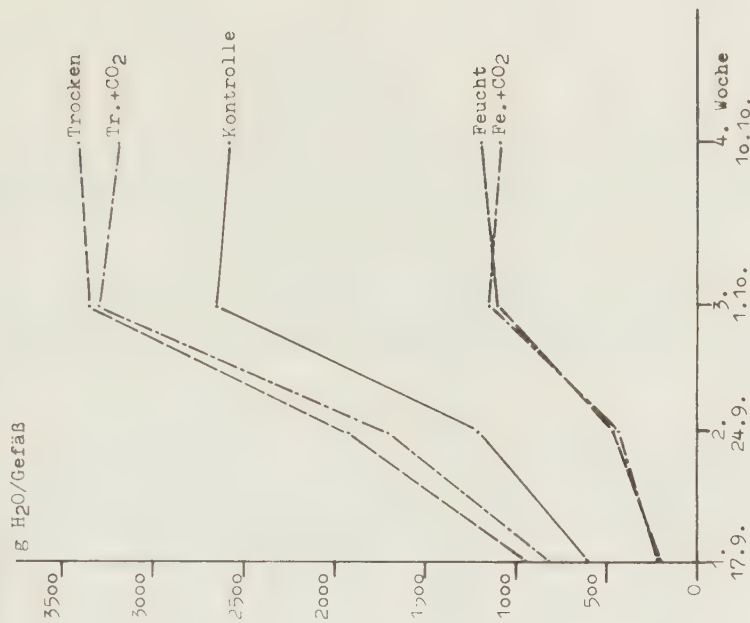
Der Auswuchsbeitrag (= Ertrag des Blindgefäßes, 2,97 g A.T.S.) wurde bei jeder Ernte vom Gesamtertrag abgezogen, so daß die angegebenen Werte den Ertragszuwachs während der Versuchsdauer darstellen.

Abb. 30



Wasserverbrauch

Abb. 31



R a p s v e r s u c h 1 9 6 7

Wasserverbrauch während der Vegetationszeit (g/Gefäß)

Variante	Behandlung	1. Woche 12.9.-17.9.	2. Woche 18.9.-24.9.	3. Woche 25.9.-1.10.	4. Woche 2.10.-10.10.	Gesamt Wasserverbr.
I	Kontrolle	520	1200	2640	3450	7810
II	Feucht	170	450	1110	1525	3255
III	Trocken	800	1920	3335	4380	10435
IV	F + CO ₂	175	445	1150	1400	3170
V	T + CO ₂	690	1705	3290	4085	9770

Die angegebenen Werte entsprechen jeweils der Transpiration/Gefäß (= Evapotranspiration - Evaporation des Blindgefäßes).

Tabelle 23

Nährstoff-Gehalte

(mg/g L.T.S.).

Behandlung		Kontrolle	Feucht	Trocken	Fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
N	1.Etage)	46,5	45,5	47,2	40,1	38,8
	2. ")	38,7	40,4	42,8	29,0	29,4
	3. ")	21,4	26,6	28,8	18,9	19,7
	1.Hälfte)	17,9	15,4	18,2	12,5	12,0
	2. ")	15,1	18,3	16,9	10,3	11,0
	Gesamtpfl.	29,1	30,6	31,7	22,5	23,1
P	1.Etage)	5,80	6,21	6,76	5,76	5,93
	2. ")	3,18	3,90	4,21	3,55	3,31
	3. ")	1,76	2,35	2,06	1,89	1,72
	1.Hälfte)	2,90	2,95	3,18	2,80	2,51
	2. ")	2,24	2,54	2,32	2,17	1,99
	Gesamtpfl.	3,27	3,68	3,76	3,28	3,19
K	1.Etage)	35,5	36,0	35,8	29,0	31,2
	2. ")	45,7	47,7	48,7	29,7	32,1
	3. ")	70,0	71,0	67,7	53,3	57,0
	1.Hälfte)	62,3	70,2	69,0	50,0	41,7
	2. ")	57,7	64,7	62,0	52,8	46,7
	Gesamtpfl.	53,1	57,0	56,0	42,7	41,1
Ca	1.Etage)	16,7	11,8	13,5	9,7	12,9
	2. ")	31,3	27,5	26,7	20,0	23,9
	3. ")	49,5	47,9	48,2	47,7	40,7
	1.Hälfte)	15,5	15,6	17,5	10,6	14,2
	2. ")	13,7	13,2	14,6	10,3	13,0
	Gesamtpfl.	25,3	23,2	24,5	19,5	20,9
Mg	1.Etage)	3,27	2,83	3,50	2,49	2,86
	2. ")	2,83	2,86	3,13	2,06	2,58
	3. ")	3,11	2,72	2,94	2,60	2,47
	1.Hälfte)	2,49	2,13	3,06	1,63	2,00
	2. ")	1,77	1,63	2,11	1,37	1,86
	Gesamtpfl.	2,72	2,46	2,96	2,04	2,45

R a p s v e r s u c h 1 9 6 7Tabelle 24Nährstoffaufnahme

(mg/Pflanze)

Behandlung		Kontrolle	Feucht	Trocken	Fe. + CO ₂	Tr. + CO ₂
N	1.Etage) Blät-ter	41,59	40,79	38,54	40,12	38,10
	2. ") Blät-ter	36,07	33,45	38,65	26,03	29,75
	3. ") Blät-ter	15,90	21,12	23,56	17,20	16,86
	1.Hälfte) Sten-gel	12,65	13,26	12,49	10,71	9,36
	2. ") Sten-gel	11,66	14,05	12,57	9,85	9,33
	Gesamt	117,87	122,67	125,81	103,91	103,40
P	1.Etage) Blät-ter	5,19	5,57	5,52	5,76	5,82
	2. ") Blät-ter	2,96	3,23	3,80	3,19	3,35
	3. ") Blät-ter	1,31	1,87	1,70	1,72	1,47
	1.Hälfte) Sten-gel	2,05	2,13	2,18	2,40	1,96
	2. ") Sten-gel	1,73	1,95	1,72	2,08	1,69
	Gesamt	13,24	14,75	14,92	15,15	14,29
K	1.Etage) Blät-ter	31,75	32,27	29,23	29,01	30,64
	2. ") Blät-ter	42,59	39,50	43,98	26,66	32,49
	3. ") Blät-ter	52,01	56,37	55,38	48,50	48,80
	1.Hälfte) Sten-gel	44,01	50,58	47,37	42,83	32,53
	2. ") Sten-gel	44,54	49,66	46,10	50,50	39,60
	Gesamt	214,90	228,38	222,06	197,50	184,06
Ca	1.Etage) Blät-ter	14,94	10,58	11,02	9,70	12,67
	2. ") Blät-ter	29,17	22,77	24,11	17,95	24,19
	3. ") Blät-ter	36,78	38,03	39,43	43,41	34,84
	1.Hälfte) Sten-gel	10,95	11,24	12,01	9,08	11,08
	2. ") Sten-gel	10,58	10,13	10,86	9,85	11,02
	Gesamt	102,42	92,75	97,43	89,99	93,80
Mg	1.Etage) Blät-ter	2,93	2,54	2,86	2,49	2,81
	2. ") Blät-ter	2,64	2,37	2,83	1,85	2,61
	3. ") Blät-ter	2,31	2,16	2,40	2,37	2,11
	1.Hälfte) Sten-gel	1,76	1,53	2,10	1,40	1,56
	2. ") Sten-gel	1,37	1,25	1,57	1,31	1,58
	Gesamt	11,01	9,85	11,76	9,42	10,67

Die angegebenen Werte sind jeweils der Entzug pro Gefäß, dividiert durch die Pflanzenzahl (20).

Tabelle 25

Haarversuch 1908

Trockensubstanz - Erträge

g L.L.O./Gefäß

Behandlung:	Kontrolle	0,03 % CO ₂	0,1 % CO ₂	0,2 % CO ₂	0,3 % CO ₂
1. Korn speru	52,55) 3,75) 56,30	53,55) 2,95) 56,50	70,85) 2,03) 73,48	67,03) 4,55) 71,58	74,30) 4,60) 78,90
2. 1.u.2.Bl.	9,08	9,83)	11,45)	11,13)	12,23)
3. 3.u.4.Bl.	7,45)	6,95)	6,50)	7,50)	9,30)
4. 5.u.6.Bl.	5,58)	4,60)	4,52)	4,48)	4,18)
Halme	18,95	22,25	31,63	32,48	36,43
Gesamtertrag	97,96	100,21	127,49	127,20	141,12

Die angegebenen Werte entsprechen jeweils dem Mittelwert von vier Parallel-Gefäßen.

xxx = Differenz sehr hoch signifikant gegenüber allen anderen Varianten.

Haferversuch 1968

Tabelle 26

Ertrag (g A.T.S./Gefäß) und Wasserverbrauch (g/Gefäß)

Versuchsdauer 63 Tage vom 28. 5. bis 30. 7.

Variante	Behandlg.	Zahl der Halme	Ertrag Korn		Wasserverbrauch	TQ	TQ Korn	Wurzel
I	Kontrolle	30	29,01 (36,6%)	50,34 (63,4%) 79,35 (100%)	24655 (100 %)	311 (100 %)	490 (100 %)	7,12 (100 %)
II	0,03% CO ₂	42	30,21 (38,1%)	51,30 (64,6%) 81,51 (102,7%)	21375 (86,7 %)	262 (84,2 %)	417 (85,1 %)	6,39 (89,7 %)
III	0,1% CO ₂	41	39,83 (50,2%)	67,87 (85,5%) 107,70 (135,7%)	19485 (79,0 %)	181 (58,2 %)	288 (58,8 %)	9,79 (137,5 %)
IV	0,2% CO ₂	39	43,21 (54,5%)	64,21 (80,9%) 107,42 (135,4%)	19265 (78,1 %)	179 (57,6 %)	295 (60,2 %)	8,87 (124,5 %)
V	0,3% CO ₂	45	49,61 (62,5%)	71,18 (89,7%) 120,79 (152,2%)	18235 (74,0 %)	151 (48,6 %)	256 (52,2 %)	10,93 (153,5 %)

Der Ausgangsertrag (= Ertrag des Blindgefäßes, 14,69 g A.T.S.) wurde bei jeder Ernte vom Gesamtertrag abgezogen, so daß die angegebenen Werte den Ertragszuwachs während der Versuchsdauer darstellen.

Abb. 32

HAFERVERSUCH 1965

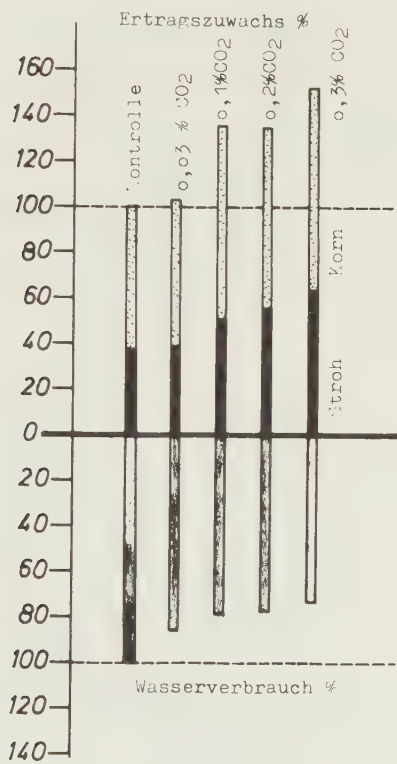


Tabelle 27

H a f e r v e r s u c h 1 9 6 8

Wasserverbrauch während der Vegetationszeit (g/Gefäß)

Vari- ante	Behand- lung	1. Woche 28.5.-2.6.	2. Woche 3.-9.6.	3. Woche 10.-16.6.	4. Woche 17.-23.6.	5. Woche 24.-30.6.	6. Woche 1.-7.7.	7. Woche 8.-14.7.	8. Woche 15.-21.7.	9. Woche 22.-30.7.	Gesamt Wasserverbr.
I	Kontr.	1840	2840	2875	3995	3910	4450	3305	810	630	24655
II	0,05% CO ₂	2010	2480	2415	3560	3280	3420	2805	785	620	21375
III	0,1% CO ₂	1930	2190	2180	3405	3100	3000	2470	650	560	19485
IV	0,2% CO ₂	1970	2290	2200	3480	3075	2725	2375	620	530	19265
V	0,3% CO ₂	1870	2080	2020	3340	3020	2545	2360	510	490	18235

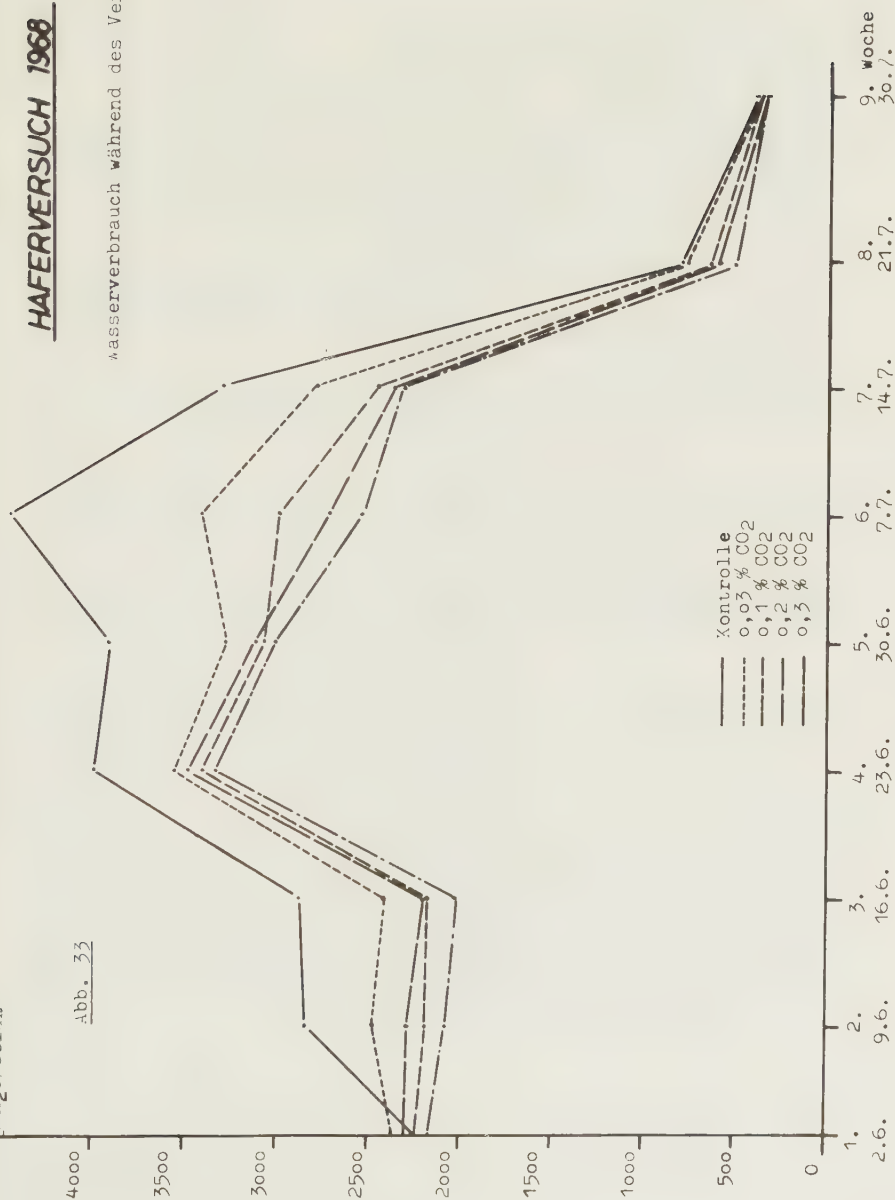
Die angegebenen Werte entsprechen jeweils der Transpiration/Gefäß (= Evapotranspiration - Evaporation des Blindgefäßes).

g H₂O/Gefäß

Abb. 33

HAERVERSUCH 1968

Wasserverbrauch während des Versuchs



VII. Literaturverzeichnis

- ALECKPEROW, K.A., 1956 Die Verbreitung der Bodenerosion in Aserbaidshan (russ.). Pochvovedenie 1, 62-68
- ARLAND, A., 1953 Transpirationsintensität, Mineraldüngung, Ertragshöhe und Ertrags-sicherheit. Die Ernährung der Pflanze, Nr.1/2, S.2-21
- ASANA, R.D., 1961 Analysis of drought resistance in wheat, in: Plant-Water-Relationships. Arid zone research - XVI (Proceeding of the Madrid Symposium) Unesco, Paris
- ASLYNG, H.C., 1956 Water Consumptions and plant-pro-duction. In: W. Ruhland Hdb. Pflanzenphysiol. III, 685-695, Springer-Verlag, Berlin
- ATANASIU, N., 1967 Vorlesung, Winter-Semester 1966/67
- BALDY, Ch., 1963 Cultures associées et productivité de l'eau. Ann. agron. 14,4. 499-544. Zit. n. de Parcevaux, 1963
- BARBER, D.A.,
KOONTZ, H.V., 1963 Uptake of dinitrophenol and its effect on transpiration and calcium accumulation in barley seedlings. Plant Physiol. 38: 60-65 Zit. n. Wallace und Carmack, 1963
- BAUMANN, H., 1961 Wasserversorgung und Ertrag. Schriftenr. Landwirtschaftl. Fak., Nr. 28, S. 37-54 Zit. n. Landw. Zentralbl. Nr. 5, S. 1240, 1962
- BAUMANN, L., 1957 Über die Beziehungen zwischen Hydra-tur und Ertrag. Ber. dtsh. Bot. Ges. 70, 67-78
- BAUMEISTER, W., 1952 Mineralstoffe und Pflanzenwachstum. G. Fischer Verlag, Jena
- BENNETT, H.H., 1947 Elements of soil conservation. New York: Mc Graw-Hill Zit. n. Finck, 1963

- BIERHUIZEN, J.F.,
PLOEGMAN, C., 1966
Enkele resultaten met CO₂-dosering
bij tomaat, kropsla, andijvie en
spinazie.
Inst. voor cultuurtechniek en water-
huishouding, Meddeling 91
- BIERHUIZEN, J.F.,
SLATYER, R.O., 1965
Effect of atmospheric concentration
of water vapour and CO₂ in determi-
ning transpiration - photosynthesis
relationships of cotton leaves.
Techn. Bull. 43. Inst. for Land and
Water Management Research,
Wageningen, The Netherlands
- BINDERMANN, H., 1921
Zit. n. Kuhnke, 1936
- BIRAND, H., 1961
Relations entre le développement des
racines et des parties aériennes
chez certaines plantes xerophytes
et leur résistance à la sécheresse.
P. 175-182. Arid zone research - XVI
(Proceeding of the Madrid Symposium),
Unesco, Paris
- BIRECKA, H.,
SKUPINKA, J., 1963
Photosynthesis, translocation and
accumulation of assimilates in ce-
reals during development.
II. Acta Soc. Botan. Poloniae 32, 531.
Zit. n. Kursanov, 1966
- BOGUSIAWSKI, E.v., 1940
Zur Methodik des Gefäßversuches bei
Wasserhaushaltsuntersuchungen.
Z. Bodenkunde u. Pflanzenernährung,
bd. 17 (62), S. 236-252
- BORISONIK, Z.B., 1957
Gerste und Hafer in der Schwarzerd-
zone, Moskau, S. 39-42
- BORFMANN, 1920
Kohlensäure und Pflanzenwachstum.
Berlin,
Zit. n. Sturm, 1967
- BOGIAN, G., 1965
Zum Gaswechselproblem: Beweisführung
zur nicht gravierenden Bedeutung der
Stomatabewegungen für die Assimilation,
Atmung und Transpiration.
Ber. dtsh. Bot. Ges. 78, 499-508
Zit. n. Hoffmann, 1968
- BRETSCHNEIDER-HERRMANN, B.,
1962
Das Phytotron in Rauischholzhausen.
Z. f. Acker- und Pflanzenbau,
bd. 115, Heft 3, S. 213-222

- BRETSCHNEIDER-HERRMANN, B., 1962/63 Über die Wechselwirkung von Temperatur und Kohlensäuregehalt der Luft auf Hafer.
Zeitschr. f. Acker- u. Pflanzenbau, Bd. 116, Heft 3, S. 301-316
- BRETSCHNEIDER-HERRMANN, B., 1967 nach mündlicher Mitteilung
- BRIGGS, L.J.,
SHANTZ, H.L., 1912 The relative wilting coefficients for different plants.
Bot. Gaz. 53, 229-235
Zit. n. Lebedincev, 1927
- BROUWER, R., 1954 The regulating influence of transpiration and suction tension on the water and salt uptake by roots of *Vicia faba* plants.
Acta Botan. Neerl. 3, 264-312
- BROUWER, R., 1956 Investigations into the occurrence of active and passive components in the ion uptake by *Vicia faba*.
1.c. 1,5, 287-314
Zit. n. Michael und Marschner, 1962
- BROUWER, R., 1959 Diffusible and exchangeable rubidium ions in pea roots.
1.c. 1,8, 68-72
Zit. n. Michael und Marschner, 1962
- BROWN, ESCOMBE, 1902 Proceedings of the Royal Society, Vol. 70, 397
Zit. n. Sturm, 1967
- BROYER, T.C.,
HOAGLAND, D.R., 1943 Metabolic activities of roots and their bearing on the relation of upward movement of salts and water in plants. Amer. J. Bot. 30, 261
- BUKOVAK, M.J.,
WITTWER, S.H., 1957 Absorption and mobility of foliar applied nutrients.
Plant Physiol. 32, 428-430
- BURINGH, P., 1960 Soils and Soil Conditions in Iraq. Baghdad, S. 42-47
- BURR, G.O., HARTT, C.E.,
TANIMOTO, T., TAKAHASHI, D.,
BRODIE, H.W., 1958 The circulatory system of the sugarcane plant. Radioisotop. in scientific Res. 4, 351 (1958)
Zit. n. Mengel, 1968

- COOPER, R.L.,
BRUN, W.A., 1967
Response of Soybeans to a carbon dioxide-enriched atmosphere. Zit. n. Landwirtsch. Zentralbl. Nr. 6, S.1298-1299, 1968
- DENOUSSEY, 1904
C.v. ac. Sci. Paris, Bd.139, 883
Zit. n. Sturm, 1967
- DENECKE, H., 1931
Über den Einfluß bewegter Luft auf die CO₂-Assimilation. Jb. Wiss. Bot. 74, 1-32
Zit. n. Walter, 1960
- DULFOREE, W., 1965
Die Wirkung von Kohlendioxyd auf das Salatwachstum in kontrollierter Umgebung. Univ. Nottingham, Rep. School, Agric., S. 49-54, Zit. n. Landw. Zentralbl. Nr. 3, S. 711, 1967
- DURAND, J., 1954
Le vent et sa consequence, L'érosion éolienne, Facteur de formation des sols au Sahara. Desert research, Soils 434-437
- EGLE, K., 1960 b
Apparente und reelle Photosynthese, Gaswechselgleichgewicht, Lichtatmung. In: W.Ruhland. Hdb.d.Pflanzenphys., Springer-Verlag, Berlin V/1, 182-210
Zit. n. Hoffmann, 1968
- EGLE, K., SCHENK, W., 1954
Der Einfluß der Temperatur auf die Lage des CO₂-Kompensationspunktes. Planta, Berlin, 43, 83
- ELLISON, W.D., 1954
Mechanics of water erosion. Trans. fifth int. Congr. Soil Sci. 3, 380-387, Zit. n. Finck, 1963
- EMBERGER, L., 1955
Projet d'une classification biogéographique des climats. In: Les divisions écologiques du Monde, S.249-255. Colloques internationaux du C.N.R.S. Paris 1954
- EMMERT, F.H., 1961 b
Evidence of a barrier to lateral penetration of P₂²² across roots of intact transpiring plants, based on measurements of xylem stream composition. Physiol. Plan. 14, 478-487. Zit. n. Wallace und Carmack, 1963
- EPSTEIN, E., 1956
Mechanism of ion absorption by roots. Nature 171, 83

- FINCK, A., 1963 Tropische Böden.
Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin
- FINKNER, R.E.,
STAFF, 1964/65 Notwendigkeit und Nutzen des Was-
sers für die Pflanze. Crystal-
ized Facts, Denver/Colo. 18, Nr. 3
S.19-20
Zit. n. Landw. Zentralbl. II 65, S.30-37
- FISCHER, H., 1958 Der Transport der Mineralstoffe.
In: W. Ruhland. Hdb. d. Pflanzenphysiol.
IV S. 289-306, Springer Verlag
- FISCHER, R.A.,
KOHN, G.D., 1966 Beziehungen zwischen Wasserverbrauch
und Wachstum im Weizenbestand.
Austral. J. Agr. Res. 17, Nr. 3,
S.255-267, Zit. n. Landw. Zentral-
bl. Nr. 1, S. 78, 1967
- FORD, M.A.,
THORNE, G.N., 1967 Effect of CO₂-concentration on
growth of sugar-beet, barley, kale
and maize. Ann. Bot., London (N.S.)
31, Nr. 124, S.629-644
Zit. n. Landw. Zentralbl. Nr. 6, S.1298, 1968
- FOURNIER, F., 1960 Climat et erosion.
Paris, Press Universitaires de France.
Zit. n. Finck, 1963
- FREEDLAND, R.O., 1937 Effect of transpiration upon the
absorption of mineral salts.
1. c. 4, 24, 373-374
Zit. n. Michael u. Marschner, 1962
- FREUDENBERGER, H., 1941 Die Reaktion der Schließzellen auf
Kohlensäure und Sauerstoffentzug.
Protoplasma 35 : 15.
Zit. n. Stälfelt, 1959
- GALE, J., HAGAN, R.M., 1966 Plant antitranspirants.
Ann. Rev. Plant Physiol. 17, 269-282
- GALSTON, A.W., 1964 Physiologie der grünen Pflanze.
Kosmos-Studienbücher
Franck'sche Verlagshandlg, Stuttgart
- GÄUMANN, E., JAAG, G., 1937 Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf
die Reaktionsgeschwindigkeit der
Spaltöffnungen.
Ber. dtsh. Bot. Ges. 55, S. 236-252
- GAUSSEN, H., 1955 Expression des milieux par des for-
mules écologiques. Leur représen-
tation cartographique. In: Les di-
visions écologiques du Monde, S.257-267.
Colloques intern. du C.N.R.S., Paris, 1954

- GOODMAN, V.H.,
WEDDING, R.T., 1956 The influence of transpiration on the respiration of cotton leaf-discs. Plant Physiol. 31, 275-278
- GRACANIN, M., 1932 Contribution à l'étude de la relation entre la transpiration et la résorption des ions. Comp. Rend. Acad. Sc. Paris, 195, 899-935
Zit. n. Michael u. Marschner, 1962
- GUYOT, G., 1963 Les brise-vent. Ann. agron. 14, 4, 429-498
Zit. n. de Parcevaux, 1963
- HEATH, O.V.S., 1949 Carbon dioxide in the intercellular spaces of leaves during photosynthesis. Nature 164, 822
Zit. n. Stålfelt, 1959
- HEATH, O.V.S., 1950 Studies in stomatal behaviour. V. The role of carbondioxide in the light response of stomata. J. exp. bot. 1: 29 and 1:227
Zit. n. Stålfelt, 1959
- HEATH, O.V.S., 1959 The water relations of stomatal cells and the mechanisms of stomatal movement. Plant. Physiol. 2: 193-250
Zit. n. Bierhuizen u. Slatyer, 1965
- HEATH, O.V.S., 1959 Light and carbon dioxide in stomatal movements. In: W. Ruhland Hdb. d. Pflanzenphys. XVII, 1. Springer
- HELRIGEL, H., 1803 Beitr. zu den naturw. Grundlagen des Ackerbaues, S. 461-501
Zit. n. W. Wollny, 1897/98
- HOAGLAND, D.R.,
BROYER, T.C., 1942 Accumulation of salt and permeability in plant cells. J. Gen. Physiol. 25 : 865-880
Zit. n. Wallace u. Carmack, 1963
- HOARE, E.,
MORRIS, L.G., 1955/56 Heating and ventilating of glass-houses. J. Inst. Brit. Agr. Eng. 12, p. 333-342
Zit. n. J.A. Businiger: The Glasshouse (Greenhouse) Climate, p. 27/-318
In: Physics of Plant Environment. Editor W.R. van Wijk
- HOFFMANN, F., 1968 Zur Physiologie der Photosynthese bei höheren Pflanzen. Bot. Studien, Heft 18, Fischer Verl., Jena

- HOPE, A.B.,
STEVENS, P.G., 1952
Electrical potential differences in
bean roots and their relation to salt
uptake.
Austr.J.Sci.Res. B.5, 335-343
Zit. n. Marschner, 1964
- HYLMÖ, B., 1953
Transpiration and ion absorption.
Physiol. Plant. 6, 333-405
- HYLMÖ, B., 1955
Passive components in the ion ab-
sorption of the plants.
I. The zonal ion and water absorp-
tion in BROUWER's experiments.
Physiol. Plant. 8, 433-449
- HYLMÖ, B., 1958
Passive components in the ion ab-
sorption of the plant.
II. The zonal water flow, ion
passage and pore size in roots of
Vicia faba.
Physiol. Plant. 11, 382-400
- ILJIN, W.S., 1923
a) Der Einfluß des Wassers auf die
Kohlenstoffassimilation der Pflanze.
Flora 116, 359
b) Der Einfluß des Welkens auf die
Atmung der Pflanze.
Flora 116, 379
- IVONOV, S.S., 1963
Guttation injuries of Plants.
Botanical Review,
Vol. 29, Nr. 2, S. 202-229
- JENSEN, G., 1962
Active and passive Components in
Ion Uptake Processes.
Physiol. Plant., Kopenhagen,
Vol. 15, 363-368
- JUDEL, G.K., HEILENZ, S.,
1969
Mineralstoffanalyse von biologischem
Material mit Hilfe der Atomabsorp-
tions-Spektralphotometrie.
Z.Pflanzenern., Düng., Bodenk. (im Druck)
- JUNGES, W., 1957
Die jährliche Niederschlagsverteilung
als entscheidender Faktor bei der
photosynthetischen Anpassung der
Pflanzen.
Gartenbauwissenschaft 22 (4), 527-540
- KERL, H.W., 1930
Beitrag zur Kenntnis der Spaltöff-
nungsbewegung. Planta 9, 407-463
Zit. n. Hoffmann, 1968

- KETELAPPER, H.J., 1963 Stomatal physiology.
Ann. Rev. Plant Physiol. 14, 249
- KIESSELBACH, T.A., 1916 Transpiration as a factor in crop
production. Agric. Exp. Stat. of
Nebraska. Research Bull.Nr.6, pp 216
Zit. n. Lebedincev, 1927
- KIHLMAN-FALK, E., 1961 Components in the uptake and trans-
port of high accumulative ions in
wheat. Physiol. Plant. 14, 417-438
Zit. n. Marschner, 1964
- KISSER, J., 1965 Der Industrielle Pflanzenbau zur
Lösung der Welternährungsprobleme.
In: Industrieller Pflanzenbau.S.7-13.
Vortragsreihe des 2. Symposiums für
Industriellen Pflanzenbau,Wien, Bd.II
- KLEIN, K., 1944 Diss. Darmstadt
Zit. n. K.Paech u. W.Simonis.
Pflanzenphysiologische Praktika.
Bd.1, S.111-112, 1952, Springer-Verlag
- KLOTZ, I.M., 1958 Protein hydration and behaviour.
Science 128, 815
Zit. n. Menzel, 1968
- KÖPPEN, W., 1931 Die Klimate der Erde, Berlin
Zit. n. Wallén, 1966
- KOSTYTSCHEW, S., 1931 Lehrbuch der Pflanzenphysiologie.
I und II, Berlin
Zit. n. Kuhnke, 1936
- KRAMER, P.J., 1957 Outer space in plants.
Science, New York 125 B 633-635
Zit. n. Wallace u. Carmack, 1963
- KRAMER, P.J., 1963 Water stress and plant growth.
Agron. J. 55, Nr. 1, S. 31-35
Zit. n.Landw.Zentralbl.Nr.1,S.6, 1964
- KRANZ, A.R., 1966 a Stoffproduktion und Assimilations-
leistung in der Evolution der Kul-
turlpflanzen. I. Einführung und expe-
rimentelle Grundlagen.
biol. Zentralbl. 85, 597-626
Zit. n. Hoffmann, 1968
- KREYZI, R., 1932 Beiträge zur Phosphorsäureaufnahme
der Pflanzen in Wasserkultur.
Z.Pflanzenern.,Düng.,Bodenkde A
25, 156-179

- KUHNKE, A., 1936 Die Abhängigkeit des Pflanzenwachstums von der Wasserverdunstung. Schr. d. Königsb. Gel. Ges. 13. Jahr, Naturwiss. Klasse, Heft 4
- KURSANOV, A.J., 1966 Le transport des substances organique-metaboliques chez les plantes. In: Atti del VI Simposio Internazionale di Agrochimica, Varenna 5.-10. Settembre, S. 41-93
- KYLIN, A., HYLMÖ, B., 1957 Uptake and transport of sulfate in wheat. Active and passive components. Physiol. Plant. 10, 467-484
- LEBEDINCEV, E., 1927 Physiologische und anatomische Besonderheiten der in trockener und feuchter Luft gezogenen Pflanzen. Ber. d. dtsh. Bot. Ges., Min-Dahlem Bd. 45, S. 83-96
- LEMÉ, G., 1956 Aspect écologique de la régulation stomatique de la transpiration. Bull. Soc. Franc. Physiol., 2, 1, 20-38
- LINCH, A.J.,
SWANSON, C.A., 1960 A study of several factors affecting the distribution of phosphorus -32 from the leaves of *Pisum sativum*. Plant and Soil 12, 57
Zit. n. Mengel, 1968
- LINSER, H., 1966 Kolloquium im Institut für Pflanzenernährung, Giessen
- LINSER, H., 1967 Das Wachstum lebender Systeme. Sonderdruck aus: Umschau in Wissenschaft und Technik, Ffm., Heft 12
- LINSER, H., 1969 Probleme des Wasserhaushaltes im industriellen Pflanzenbau. 3. Symp. Industr. Pflanzenbau, Wien, 20.9. (im Druck)
- LINSER, H., KÜHN, H.,
KLINGST, A., 1962 Die Beziehungen zwischen Nährstoffentzug und Ertrag bei steigenden Nährstoffgaben. Die Bodenkultur 13, 133
- LINSKENS, H.F., 1967 Pollen. In: W. Ruhland. Hdb. d. Pflanzenphysiol. Bd. 18, S. 368-406
- LOEHWLIG, W.F., 1942 Nutritional factors in plant growth and development. Proc. Lowndes d. Sci. 4, 1-112

- LÜCK, W., 1964 Feuchtigkeits-
Grundlagen, Messen, Regeln
R. Oldenbourg, München, Wien
- LUNDEGÅRDH, H., 1921 Ber.d.dtsch.Bot.Ges. 39, 195, 223
Zit. n. Lundegardh, 1960
- LUNDEGÅRDH, H., 1924 Der Kreislauf der Kohlensäure in
der Natur. Fischer-Verlag, Jena
- LUNDEGÅRDH, H., 1932 Die Nährstoffaufnahme der Pflanze.
Fischer, Jena, S.70-91
- LUNDEGÅRDH, H., 1957 Klima und Boden in ihrer Wirkung
auf das Pflanzenleben.Fischer, Jena
Zit. n. Lundegardh, 1960
- LUNDEGÅRDH, H., 1960 "Pflanzenphysiologie"
Fischer, Jena, S. 320-329
- MARSCHNER, H., 1964 Aktive und passive Ionenverlagerung
durch die Pflanzenwurzel in den Sproß
unter dem Einfluß der Transpiration.
Z.Landw.Forschg.18. Sonderheft 91-99
- MARTONNE, E. de, 1926 Une nouvelle fonction climatologique:
l'indice d'aridité, La Météorologie,
p.449. Zit. n. Wallén, 1966
- MAXIMOV, .. Zit. n. Arland, 1953
- MAXIMOV, N., Produktivität der Transpiration
ALEXANDROV, W., 1917 und Dürresistenz. Trav. d.Jard. Bot.
de Tiflis, Livr. 19, 139-194 (russ.)
Zit. n. Lebedincev, 1927
- MEIGS, P., 1953 world distribution of arid and semi-
arid homoclimates. Reviews of Research
on Arid Zone Hydrology, Unesco, Paris,
pp. 203-209. Zit. n. Wallén, 1966
- MENGEL, K., 1962 Die K- und Ca-Aufnahme der Pflanze
in Abhängigkeit vom Kohlenhydratge-
halt ihrer Wurzel.
Z.Pflanzenern.,Düng.,Bodenk.98, 44-54
- MENGEL, K., 1968 Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze.
3.Auflage, G.Fischer Verlag, Stuttgart.
- MMZ, C., 1919/20 Aufzeichnungen aus der Vorlesung der
allgem. Botanik, Königsberg/Pr.
Zit. n. Kuhnke, 1936

- MICHAEL, G., 1941 Über die Aufnahme und Verteilung des Magnesiums und dessen Rolle in der höheren grünen Pflanze. Bodenkunde und Pflanzenernährg. 25, 65
- MICHAEL, G., FAUST, H., BLUME, B., 1960 Die Verteilung von spät gedüngtem ¹⁵N in der reifenden Gerstenpflanze unter besonderer Berücksichtigung der Korneiweiße. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 91, 158
- MICHAEL, G., MARSCHNER, H., 1958 Untersuchungen über die Phosphatabscheidung aus Pflanzenwurzeln mit Hilfe von ³²P. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 80, 1
- MICHAEL, G., MARSCHNER, H., 1962 Der Einfluß unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit und Transpiration auf Mineralstoffaufnahme und -verteilung. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 96, 200
- MILLER, E.C., 1938 Plant Physiology. 2ed. Mc Graw-Hill, New York, pp. 95-113
Zit. n. Bierhuizen u. Slatyer, 1965
- MITROVANOV, A.S., MITROVANOV, K.S., 1967 Hafer (russ.), Moskau S. 46-47
- MITSCHERLICH, E.A., 1904 Ein Verdunstungsmesser. Ldw. Vers.-Stat. 60
Zit. n. Kuhnke, 1936
- MITSCHERLICH, E.A., 1912 Das Wasser als Vegetationsfaktor. Ldw. Jahrb., Zit. n. Kuhnke, 1936
- MITSCHERLICH, E.A., 1933 Der Einfluß klimatischer Faktoren auf die Höhe des Pflanzenertrages. Schr. d. Königsberger Gel. Ges. Nat. Klasse 10, Heft 6
- MORDVINKINA, A.I., 1959 Hafer. Hdb. f. Samenzucht (russ.) Red. Sizov, I.A. S. 157, Moskau
- MORTIMER, D.C., 1959 Some short-term effects of increased carbon dioxide concentration on photosynthetic assimilation in leaves. Canad. J. Bot. 37, 1191-1201
Zit. n. Hoffmann, 1968
- MUDRA, A., 1958 Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche. Parey-Verlag, Berlin - Hamburg

- MUENSCHER, W.G., 1922 The effect of transpiration on the absorption of salts by plants. Amer. Journ. of Bot. 9, 329
Zit. n. Lebedincev, 1927
- MÜLLER, 1966 Paprika: Ertragssteigerungen durch CO₂-Begasung. Gartenbauwirtsch. Wien, Nr.7, S.170
Zit.n.Landw.Zentralbl. Nr. 3
S. 706-707, 1967
- MUSSAJEWA, L.D., 1957 Einwirkung von Wassermangel auf die Atmung in versch. Entwicklungsstadien der Gerste. Pflanzenphysiologie 4, 234-242, Leningrad
Zit. n. Landw. Zentralbl. Nr. 4, S. 731-732, 1958
- NEWTON, P., 1966 Der Einfluß von steigender CO₂-Konzentration und Zusatzbelichtung auf das Wachstum von Tomatensämlingen während der Wintermonate. Ann.appl.Biol. 57, Nr.3, S. 345-353
Zit.n.Landw.Zentralbl. Nr. 3, S. 707-708, 1967
- ORCHARD, B.,
HEATH, O.V.S., 1964 Carbon assimilation at low carbon dioxide levels. J. exp. Bot. 15, 314-330
Zit. n. Hoffmann, 1968
- PARCEVAUX, S. de, 1963 Transpiration et production de matière sèche. Essai d'interprétation en fonction des facteurs du milieu. Ann. agron. I.N.R.A. 14, (5), 655-742
- PENMAN, H.L.,
SCHOFIELD, R.K., 1951 Some physical aspects of assimilation and transpiration. Soc. Expftl. Biol., 5: 115-129
Zit. n. Bierhuizen u. Slatyer, 1965
- PETINOV, N.S., 1960 Physiological principles of raising plants under irrigated agriculture. S.81-92. The K.A. Timiriazew Institute, USSR Academy of Science, Moscow
- PETINOV, N.S., 1961 Base physiologique pour une bonne efficacité d'une irrigation intermittente des plantations de Thé (russ.). Tzw.AK.NAUK.SSSR.Ser.Biol.5, 717-728
Zit. n. de Parcevaux, 1963

- PETINOV, N.S.,
RAZMAEV, J.J., 1961
Einfluß hoher Temperaturen auf Atmungsintensität und Kohlenhydratstoffwechsel der Pflanzen.
Fiziologija rastenij Nr.4, S.417-424
Moskau 8. Zit.n. Landw. Zentralbl. Nr. 5, S. 1213/14, 1962
- PETTERSON, S., 1960
Ion absorption in young sunflower plants. I. Uptake and transport mechanism for sulphate.
1.c. 10, 13, 133-147
Zit. n. Michael u. Marschner, 1962
- PISEK, A.,
WINKLER, E., 1953
Die Schließbewegung der Stomata bei ökologisch verschiedenen Pflanzentypen in Abhängigkeit vom Wassersättigungszustand der Blätter und dem Licht.
Planta 42, 253-278
- PISEK, A.,
WINKLER, E., 1956
Wassersättigungsdefizit, Spaltenbewegung und Photosynthese.
Protoplasma 46, 597-611
Zit. n. Hoffmann, 1968
- PROKOF'EV, A.A.,
KAC, K.M., 1963
Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Transpiration.(rus..)
In: Fiziologijy rastenij, tom 10 2, 204-211
- RABINOWITCH, E.J.,
1945, 1951, 1956
Photosynthesis and related processes.
New York, Vol. I 1945, Vol. II/1 1951, Vol. II/2, 1956
Zit. n. Hoffmann, 1968
- RADEMACHEr, B., 1932
Die Weißährigkeit des Hafers, ihre verschiedenen Ursachen und Formen.
Wiss. Archiv f. Landw. Abt. A, Pflanzenbau 8, 456-524
- RASCHKE, K., 1965
Die Stomata als Glieder eines schwingungsfähigen CO₂-Regelsystems.
Experimenteller Nachweis an Zea mays L.
Zeitschr. f. Naturforschung Bd. 20 b, Heft 12
- RASCHKE, K., 1966
Die Reaktionen des CO₂-Regelsystems in den Schließzellen von Zea mays auf weißes Licht.
Planta 68, 111-140
- REINAU, E., 1927
Praktische Kohlensäuredüngung in Gärtnerei und Praxis, Berlin
Zit. n. Sturm, 1967

- REINAU, E.H., 1957 CO₂-Gehalt, Licht-Produktgesetz und Resttheorie der Luft-CO₂. Angew. Botanik 31, 74-83 Zit. n. Hoffmann, 1968
- REINITZER, F., 1881 Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften in Wien, Bd. 83, Abtlg. I, Januarheft Zit. n. W. Wollny, 1897/98
- REINKE, J., 1876 Botanische Zeitung S. 139, 147 u. 171 Zit. n. W. Wollny, 1897/98
- RIETZEL, P., 1959 Zur Ermittlung des physiologisch nutzbaren Wassers im Boden mit Hilfe des Gefäßversuches. Diss. Gießen
- RIRIE, D.,
TOTH, S.J., 1952 Plant studies with radioactive calcium. Soil Sci. 73, 1-5
- ROBELIN, M., 1960 La transpiration des plantes. Bull. de l'Ass. Fr. pour l'étude du sol, Nr. 6 u. 7
- RUSSEL, R.S.,
BARBER, D.A., 1960 The relationship between salt uptake and the absorption of water by intact plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 11, 127-140
- RUSSEL, R.S.,
SHORROCKS, V.M., 1959 The relationship between transpiration and the absorption of inorganic ions by intact plants. J. Exp. Bot. 10, 301-316
- RUTHNER, O., 1967 Industrieller Pflanzenbau. Industrieanlage f. Pflanzenbau GmbH. Wien,
- SAUCHELLI, V., 1965 "Düngung der Luft von Kulturpflanzen". Agric. Chemical 20, Nr. 10, S. 61, 109-110. Zit. n. Landw. Zentralbl. S. 2625, 1966
- SAXENA, M.C., 1965 Einfluß der Wasserversorgung auf das Wachstum und die Mineralstoffaufnahme einiger Getreidearten (Diss. Hohenheim). Zit. n. E.F. Nienstedt, Diss. Gießen
- SAYRE, J., 1923 Physiology of stomata of Rumex patientia. Papers from the Dep. of Bot. The Ohio State Univ. No. 171 : 233, 1926 Zit. n. Stälfelt, 1959

- SCARTH, G.W.,
SHAW, M., 1951 a, b
Stomatal movement and photosynthesis in *Pelargonium*.
I. Effects of light and carbon dioxide. *Plant Physiol.* 26:207 a
II. Effects of water deficit and chloroform:- Photosynthesis in guard-cells. *Plant Physiol.* 25:581 b
Zit. n. Stälfelt, 1959
- SCHARRER, K., 1950
Arbeiten über Rhenaniaphosphat in Weihenstephan und Gießen.
Z.Pflanzenern., Düng., Bodenk. 50, 1
- SCHARRER, K., 1953
Agrikulturchemie I, Pflanzenernährung. *Verl. Walter de Gruyter u.Co., Berlin*
- SCHARRER, K.,
MENGEL, K., 1960
Über das vorübergehende Auftreten sichtbaren Magnesiummangels bei Hafer. *Agrochimica* 4, 3
- SCHARRER, K.,
MENGEL, K., 1960
Aufnahme und Verteilung der Kationen Ca, Mg, K und Na in der Pflanze bei variiertem K- und Mg-Düngung sowie bei extraradikaler K-Versorgung. *Plant and Soil* 12, 4. 377-396
- SCHMIDT, O., 1936
Die Mineralstoffaufnahme der höheren Pflanze als Funktion einer Wechselbeziehung zwischen inneren und äußeren Faktoren.
Z. f. Bot. 30, 289-334
- SCHRÖDER, H., 1963/64
Untersuchungen über Möglichkeiten der Verminderung der Transpirationsquotienten und Wechselbeziehungen zwischen Transpiration u. Nährstoffaufnahme. *Biol. Rundschau*, Bd. 1, 174-175
- SEELHORST, E.V., 1911
Die Bedeutung des Wassers im Leben der Kulturpflanzen.
J. f. Landwirtsch. Bd. 59, S. 259-291
- SIERP, H., 1933
Untersuchungen über die Öffnungsbe-
wegung der Stomata in verschiedenen
Spektralbezirken.
Flora, 128, 269-285
Zit. n. Gäumann u. Jaag, 1937
- SLILINA, A.A., 1955
"Fiziologija rastenij", 2, 364
Zit. n. Prokof'ev u. Kac, 1963
- SLATYER, R.O., 1964
Efficiency of water utilization by
arid zone vegetation.
Ann. of arid zone, Vol. 3, Nos. 1 u. 2

- SLAVIK, B., 1965 The influence of decreasing hydration level on photosynthetic rate in the thalli of the hepatic *Conocephallum conicum*. In: Water stress in plants. Proc. of a Symp., Prag, S.195-202
Zit. n. Hoffmann, 1968
- SORAUER, P., 1880 Botanische Zeitung 1878, S.1 - Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik, Bd.III, S. 403-436
Zit. n. W.Wollny, 1897/98
- STÄLFELT, M.G., 1955 The stomata as a hydrophatic regulator of the water deficit of the plant. *Physiol. Plant.* 8, 572-593
- STÄLFELT, M.G., 1956 Die stomatäre Transpiration und die Physiologie der Spaltöffnungen. In: W.Ruhland. Hdb. d. Pflanzenphysiol. Bd. III, 351, Springer-Verlag
- STÄLFELT, M.G., 1957 The water output of the guard cells of the stomata. *Physiol. Plant.* 10, 752
- STÄLFELT, M.G., 1959 The effect of carbon dioxide on hydroactive closure of the stomatal cells. *Physiol.Plant.*, 12, 4, 691-705
- STÄLFELT, M.G., 1960 a Das Kohlendioxyd. In: W.Ruhland. Hdb.d.Pflanzenphysiol. V/2, 81-99, Springer-Verlag
- STÄLFELT, M.G., 1966 The role of the epidermal cells in the stomatal movements. *Physiol.Plant.* Copenhagen, 19, Nr.1, S. 241-256
- STEUBING, L., 1968 nach mündlicher Mitteilung
Botanisches Institut, Gießen
- STOCKER, O., 1956 Die Abhängigkeit der Transpiration von den Umweltfaktoren. In: W.Ruhland. Hdb. d. Pflanzenphysiol. III, 436
- STOY, V., 1963 The translocation of C^{14} labelled photosynthetic products from the leaf to the ear in wheat. *Physiol. Plant.*, 16, 851
Zit. n. Kursanov, 1966
- STURM, M., 1966 Der Einfluß zusätzlicher CO_2 -Gaben bei verschiedenen Kulturen. Südd. Erwerbsgärtner 20, Nr. 12, i. 4 '1-74, Nr. 15, S. 616-18. Zit. n. Landw.Zentralbl.Nr.3, S.702-703, 1967

- STURM, M., 1967
Zur Frage des Verhaltens des Kohlendioxyd in der Gewächshausatmosphäre.
Z.Pflanzenern.,Bodenk.,Ed.116, 177-190
- THOMAS, M.D., 1965
Photosynthesis (carbon assimilation); Environmental and metabolic relationship. In: Plant Physiol. (Ed.F.G. Steward). Academie Press, New York u. London, IV, A, 9-202
Zit. n.Hoffmann, 1968
- THORNTHWAITE, W., 1948
An approach towards a rational classification of climate.
Geogr. Rev., Vol.38, pp 55-94
Zit. n. Wallén, 1966
- TSCHAPLOWITZ, F.O.,
1882, 1883, 1886
Untersuchungen über die Einwirkung der Wärme und der anderen Formen der Naturkräfte auf die Vegetationsercheinungen. Leipzig 1882. - Bot. Zeitung 1883, S. 353. - Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik, Bd.IX, 1886, S.117
Zit. n. W.Wollny 1897/98
- VLETS, F.G., 1962
Fertilizers and efficient use of water. Advan.Agron., 14 : 223-265
Zit. n. Bierhuizen u. Slatyer, 1965
- WAADIA, Y., RANLI, F.O.,
HAGAN, R.M., 1961
Plant water deficits and physiological processes.
Ann.Rev.Plant Physiol.12, 265-292
- WADSWORTH, R.M., 1959
An optimum wind speed for plant growth. Ann. Botany (N.S.) 23, 195-199
- WAGNER, H., 1932
Zum Wachstumsverlauf verschiedener Getreidearten, insbesondere von Hafer. Z.Pflanzenern.,Düng.,Bodenk.A 25,48-102
- WALLACE, G.A.,
CARMACK, C.R., 1963
Effect of humidity differences (therefore transpiration differences) on salt uptake and distribution in intact plants. In: Arthur Wallace, Solute uptake by intact plants,S.83-86 Los Angeles 64, California
- WALLEN, C.C., 1966
Arid Zone Meteorology.
In: Arid Lands. Edited by E.S.Hills, London, Methuen u.Co.Ltd Paris, UNESCO
- WALTER, H., 1931
Die wassersättigung der Pflanze und ihre Bedeutung für das Pflanzenwachstum. Z.Pflanzenern.,Düng. A 6, 65-88

- WALTER, H., 1950 Grundlagen des Pflanzenlebens.
Bd. I. Verl. E. Ulmer, Stuttgart
- WALTER, H., 1960 Einführung in die Phytologie.
Bd. III - Grundlagen der Pflanzen-
verbreitung. I. Teil - Standortslehre
Verl. E. Ulmer, Stuttgart
- WALTER, H., 1962 Die Vegetation der Erde in ökolo-
gischer Betrachtung.
Bd. 1, Die tropischen und subtropi-
schen Zonen, S. 269-274
Fischer, Jena
- WALTER, H.,
LIETH, H., 1956 Klimadiagramm - Welt Atlas,
Jena, 1961
- WEBER, F., 1923 Enzymatische Regulation der Spalt-
öffnungsbewegung.
Naturwiss., 11, 309-316
Zit. n. Gäumann u. Jaag, 1937
- WEIGL, J.,
LÜTTGE, U., 1962 Mikroautoradiographische Untersuchun-
gen über die Aufnahme von $^{35}\text{SO}_4$ durch
Wurzeln von Zea mays L.
Planta, Berlin 59, 15-28
Zit. n. Marschner, 1964
- WENZEL, H., 1939 Jahrb. Wiss. Bot. 88, 89 u. 123
Zit. n. K. Paech u. W. Simonis, 1952
Pflanzenphysiologische Praktika,
Bd. 1, S. 111-112, 1952 Springer-Verlag
- WIESNER, J., 1887 Grundvers. über den Einfluß der Luft-
bewegung auf die Transpiration der
Pflanze. Sitzungsber. Akad. Wiss.
Wien, Math. naturw. Kl. 74
Zit. n. Kuhnke, 1936
- WIT, C.T. de,
ALBERDA, T., 1961 Transpiration coefficient and transpi-
ration rate of the three grain species
in growth chambers.
Inst. biol. scheikund. Onderzoek
Landbouwgewassen, Wageningen
Meded. Nr. 156, S. 73-81
- WOLLNY, E., 1897/98 Untersuchungen über die Verdunstung
und das Produktionsvermögen der Kul-
turpflanzen bei versch. Feuchtigkeits-
gehalt der Luft. III Agrar-Meteorologie,
S. 528-537. Forsch. a.d. Geb.d.
Agrik.-Physik 20

WOLLNY, W., 1897/98

Untersuchungen über den Einfluß der
Luftfeuchtigkeit auf das Wachstum
der Pflanzen.

In: E.Wollny, Forschungen auf dem
Gebiet der Agrikultur-Physik
Bd. 2o, S. 397-438

WRIGHT, K.D., 1939

Transpiration and the absorption
of mineral salts.

Plant Physiol. Lancaster 14, 171-174
Zit. n. Marschner, 1964

Meinem sehr verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Hans Linser, der mir die Anregung und Möglichkeit zur Durchführung dieser Arbeit gab und der mir in jeder Hinsicht großzügige Unterstützung und Förderung zuteil werden ließ, möchte ich recht herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Professor Dr. Hans Kühn für die Förderung bei der Planung und Durchführung der Versuche und die mir jederzeit erteilten wertvollen Anregungen und freundliche Hilfsbereitschaft.

Insbesondere danke ich auch Herrn Professor Dr. F. Großmann und Frau Professor L. Steubing für die wertvollen Ratschläge.

Meinen Dank richte ich außerdem an Herrn Dr. H. Bretschneider-Herrmann für interessante Diskussionen und Hinweise.

Ferner danke ich Herrn Dr. J. Bohring und Dr. R. Marquard für ihre freundliche Hilfe und Unterstützung, sowie allen Angehörigen des Instituts für Pflanzenernährung, die mir bei der Durchführung meiner Arbeit freundlich zur Seite standen.

Nicht zuletzt danke ich Frau Dr. G. Pospelowa und Fräulein H. Fliess für die Überlassung der zahlreichen deutschen und russischen Literatur.

Lebenslauf

Am 15. Juni 1930 wurde ich als Sohn des Finanzinspektors Ismael Osman Nouri und dessen Ehefrau Nazira in Deir-Ezzor (Syrien) geboren. Von 1937 bis 1949 besuchte ich die Volksschule und das Gymnasium in Deir-Ezzor, wo ich im Herbst 1949 das Abitur (naturw.) bestand. Von 1949 bis 1951 war ich als Lehrer in Deir-Ezzor tätig. Von 1951 bis 1953 war ich als Zollbeamter in Aleppo beschäftigt.

1953 ging ich als Stipendiat des syrischen Landwirtschaftsministeriums nach Frankreich, wo ich bis 1957 an der Ecole Nationale Supérieure Agronomique in Grignon Landwirtschaft studierte und mit dem Diplom "Ing. Agronom" abschloss. Von 1957 bis 1959 studierte ich Forstwirtschaft an der Ecole Nationale des Eaux et Forêts in Nancy und erlangte das Diplom eines "Ing. Civil des Eaux et Forêts".

Ende 1959 kehrte ich nach Syrien zurück, wo ich zunächst im Ministerium für Agrarreform, Außenstelle Deir Ezzor, tätig war. Von 1961 bis 1963 war ich Leiter der Außenstelle für die Region Lattakia. Von 1963 bis 1965 war ich Leiter des Forstlichen Forschungszentrums in Bouka-Lattakia (Landwirtschaftsministerium).

1965 wurde mir ein unbezahlter Studienurlaub gewährt, um in Deutschland zu promovieren. Von September 1965 bis Juni 1966 arbeitete ich als Volontär in den Farbwerken Hoechst AG, Abtlg. Pflanzenschutz-Biologie.

Ab Juni 1966 vertiefte ich meine wissenschaftliche Ausbildung auf dem Gebiet der Pflanzenernährung an dem Institut für Pflanzenernährung der Universität Gießen. Während dieser Zeit wurde die vorliegende Arbeit angefertigt.

